REVISTA N°9

I CONGRESO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEL CODINOA

INVESTIGACIONES EN FACULTADES DE INGENIERÍA DEL NOA

ISSN: 1853-6662

FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JUJUY

Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Ing. Néstor René Ledesma

Facultad de Agronomía y Agroindustrias

Universidad Nacional de Salta FACULTAD DE INGENIERIA

facet

Autoridades

Decanos

Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas - Universidad Nacional de Catamarca
Ingeniero Agrimensor Carlos Humberto Savio

Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Jujuy
Ingeniero Informático Luis Alejandro Vargas

Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Salta
Ingeniero en Construcciones Héctor Raúl Casado

Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías - Universidad Nacional de Santiago del Estero
Ingeniero Vial Pedro Juvenal Basualdo

Facultad de Agronomía y Agroindustrias - Universidad Nacional de Santiago del Estero
Doctora Ingeniera en Industrias Agrícolas y Alimentarias Myriam Elizabeth Villarreal

Facultad de Ciencias Forestales - Universidad Nacional de Santiago del Estero
Doctor Ingeniero en Industrias Forestales Juan Carlos Medina

Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología - Universidad Nacional de Tucumán
Doctor Ingeniero Electricista Miguel Ángel Cabrera

Secretarios de Ciencia y Técnica

FACET -UNT - Dr. Ing. Nicolás NIEVA
FI - UNSa - Dr. Sergio Alejandro OLLER ARAMAYO
FI - UNJu - Dr. Héctor Ramón TARIFA
FT Y CA - UNCa - Dra. Martha Susana CAÑAS
FCEyT - UNSE - Dra. María José BENAC

Secretarios de Posgrado

FT Y CA - UNCa - Mg. Ing. Gloria LÓPEZ
FCEyT - UNSE - Mg. Ing. Pedro Benjamín GELID
FACET -UNT - Dra. Norma Lis ROBLES

Editores

Esp. Ing. Sergio Omar MADREGAL
Lic. José Luis MEDINA

Diseño de tapa

Arq. Adriana CORREA BERBEL

Comité Editorial

Ing. Raquel CÁCERES
Arq. Adriana CORREA BERBEL
Esp. Ing. Sergio Omar MADREGAL
Lic. José Luis MEDINA
Ing. Carolina TOLABA
Dra. Ing. Julia Eleonora SANTAPAOLA

Prólogo

La "Revista Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA" es una publicación de los trabajos completos presentados y evaluados para el 1er Congreso de Ciencia y Tecnología del CODINOA, desarrollado durante los días 28 y 29 de Septiembre de 2023 en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jujuy, en la ciudad de San Salvador de Jujuy. Este 1er Congreso de Ciencia y Tecnología del CODINOA es la continuidad de las Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA que tuvo origen en la reunión anual del CONFEDI del año 2005 en la provincia de Jujuy, por iniciativa del Consorcio de Decanos de Ingeniería del Noroeste Argentino (CODINOA) formado por las Facultades de Ingeniería de las Universidades Nacionales de Jujuy y Salta, las Facultades de Ciencias Exactas y Tecnologías, de Ciencias Forestales y de Agronomía y Agroindustria de la Universidad Nacional de Santiago del Estero, la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán y la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca.

Los trabajos de la Revista Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA son de carácter multidisciplinario y permiten año a año la convergencia de áreas del conocimiento relacionadas con ingeniería, ciencias exactas y tecnología. Es una reunión científica y académica regional de profesionales, docentes, investigadores, estudiantes de grado y postgrado. Los trabajos que conforman la presente revista se sometieron a un exhaustivo proceso de evaluación con modalidad doble referato, a través de un Comité Científico conformado por 148 profesionales de distintas disciplinas y para el Número 9 de la revista resultaron aprobadas 90 contribuciones originales.

Los representantes de las Secretarías de Ciencia y Técnica y las autoridades de las Facultades que forman el Consorcio CODINOA agradecemos a los autores de los trabajos de la presente revista, a los profesionales que participaron como Miembros del Comité Evaluador por su ardua y desinteresada tarea, a la Comisión organizadora del 1er Congreso de Ciencia y Tecnología muy especialmente a quien a pesar de haber dejado sus funciones en la Secretaria de Ciencia y Técnica de la Facultad de Ingeniería de la UNJu tuvo el compromiso de continuar con la organización y concreción de todas las tareas concernientes al Congreso, la Dra. Julia E. Santapaola. Finalmente a todos aquellos que colaboraron directa e indirectamente en la realización de esta gran tarea.

Muchas Gracias

Dr. Héctor Ramón Tarifa
Secretaria de Ciencia y Técnica
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de Jujuy

Comité Científico Evaluador

ABASCAL, Liliana del Valle (UNT)

ACOSTA, Carina Andrea (UNSE)

ALANCAY, Matias Miguel (UNJu)

ALBARRACÍN, Carlos Marcelo (UNSa)

ALE RUIZ, Elisa Liliana (UNSa)

ALMAZÁN, Jorge Emilio (UNSa)

ALONSO, María Silvia (UNJu)

ARACENA, Guillermo Eugenio (UNJu)

ARANDA, Marcos Darío (UNCA)

ARAUJO, Paula Zulema (UNT)

ARDUINO, Andrea Alejandra (UNJu)

ARGAÑARAZ, Jorgelina Francisca (UNJu)

ARRUA, Pedro (UTN)

AUDISIO, Marcela Carina (UNSa)

AYUNTA, Carolina Anabel (UNSE)

AZAR, Miguel Augusto (UNJu)

BARRERA, María Alejandra (UNCA)

BAZALAR PEREDA, Mayra Saby (UNJu)

BENAC, María José (UNSE)

BERNAL, Roberto Adolfo César (UNJu)

BERTUZZI, Maria Alejandra (UNSa)

BEVACQUA, Cristian Ignacio (UNCa)

BORSELLINO, Marcelo Julian (UNSE)

BURGOS, Laura Silvina (UNJu)

BUSTOS, Ana Yanina (UNSE)

CABANA, Roxana Del Carmen (UNJu)

CÁCERES, Nélida Raquel (UNJu)

CADENA, Carlos Alberto (UNSa)

CALLIOPE, Sonia Rosario (UNJu)

CANAVIRE, Vanina Belen (UNJu)

CAÑAS, Martha Susana (UNCa)

CARDONA, Gabriela (UNSE)

CASTILLO, César Alejandro (UNJu)

CHAILLOU, Lucrecia Lucía (UNSE)

CHALABE, Susana Angélica (UNJu)

CHEEÍN, Nori Esther (UNSE)

CISTERNA FERNÁNDEZ, María Inés (UNCa)

CORREGIDOR, Pablo Fernando (UNSa)

COSTA MACÍAS, Karina Eliana (UNSE)

COSTAGUTA, Rosanna (UNSE)

DARGÁM, Rubén Marcelo (UNJu)

DAVIES, Lilian Emilia (UNSa)

DOMÍNGUEZ, Orlando José (UNSa)

DORIA, Maria Vanesa (UNCa)

DURAN, Elena Beatriz (UNSE)

DURÁN, Gonzalo José (UNSa)

ERCK, Isolda Mercedes (UNaM)

ESCAÑUELA GONZALEZ, Melisa Gisselle (UNSE)

ESPECHE TURBAY, Maria Beatriz (UNSE)

FABIANI, Gisela (UNSE)

FARFAN, Norma Beatriz (UNJu)

FARFÁN, José Humberto (UNJu)

FERNANDEZ, Ruben Ignacio (UTN)

FERNÁNDEZ, Norma Beatriz (UNSE)

FLORES, Carola Victoria (UNCa)

FRANCO, Ada Judith (UNSa)

FRAU, Florencia (UNSE)

FUMAGALLI, Emiliano (UNJu)

GALIANO, José Eduardo (UNSE)

GARCÍA, Elisa Mariana (UNSE)

GARCÍA, Luis Humberto (UNSE)

GENEROSO, Silvina Marcela (UNSE)

GIMENEZ, Maria Alejandra (UNJu)

GIUNTA, Sandra Adriana (UNJu)

GOLDNER, María Cristina (UNSa)

GOMEZ, José Ismael (UNSE)

GÓMEZ KAMENOPOLSKY, Patricia Elizabeth (UNCa)

GÓMEZ, Sofía Gabriela (UNCA)

GONZALEZ, Adela Evangelina (UNSE)

GONZALEZ, Soledad Carolina (UNJu)

GUTIERREZ, Diego Ricardo (UNSE)

GUTIERREZ, Juan Pablo (UNSa)

HERRERA, Carlos Gabriel Rosa (UNCa)

HERRERA, Walter Edgardo (UNCa)

HERRERA OVIEDO, Eduardo Patricio (UNJu)

IRAHOLA FERREIRA, Jaime Alfonzo (UNJu)

IZETTA RIERA, Carlos Javier (UNJu)

JIMENEZ, María Dolores (UNJu)

JUÁREZ, Carlos Ramón (UNSE)

KOELTZSCH, Grit Kirstin (UNJu)

LAZARTE, Ivanna Maricruz (UNCa)

LEDESMA, Ana Estela (UNSE)

LEIVA, MARIO (UNS)

LEMOS, Maria Laura (UNSE)

LESCANO, Germán Ezequiel (UNSE)

LOBO, Manuel Oscar (UNJu)

LOPEZ, Gloria Del Valle (UNCa)

LOREFICE, Ricardo Horacio (UNSE)

LORES, Gustavo Alberto (UNJu)

LUNA PIZARRO, Patricia Del Carmen (UNJu)

MADREGAL, Sergio Omar (UNJu)

MALDONADO, Marta Silvina (UNJu)

MANFREDI, Adriana Paola (UNT)

MARTINEZ, Julieta (UNSa)

MARTÍNEZ, Sergio Luis (UNJu)

MAUD, Ana María (UNSE)

MAUTINO, Gisella Carla (UNJu)

MAZZA, Germán (UNCo)

MEDINA, Liliana Mabel (UNT)

MEDRANO, José Federico (UNJu)

MELLANO, María Fernanda (UNSE)

MELONI, Diego Ariel (UNSE)

MERCHÁN RUBIANO, Sandra Milena (Univ.Santander)

NIEVA, Nancy Eugenia (UNCa)

OROSCO SEGURA, Lía Elizabeth (UNSa)

ORTIN VUJOVICH, Adriana Elizabeth (UNSa)

ORTIZ, Erlinda Del Valle (UNCa)

PAGANINI, José Humberto (UNJu)

PARENTIS, Mónica Liliana (UNSa)

PÉREZ, Hugo Alejandro (UNSE)

PEREZ IBARRA, Claudio Marcelo (UNJu)

QUINTEROS, Ricardo Daniel (UNSa)

QUISPE, José Rolando (UNJu)

REVOLLO SARMIENTO, Gisela Noelia (UNJu)

RIOS, Francisco Teodoro (UNJu)

RIZO PATRON, Marcia (UNSE)

RUANO, Gonzalo (UNSa)

RUEDA, Julio (UNJU)

SALAS, Carlos Alberto (UNT)

SALICA, María José (INST. LILLO)

SALVADOR, Ricardo Pablo (UNER)

SAMMAN, Norma (UNJu)

SÁNCHEZ, Diana Carolina (UNSa)

SANCHEZ REINOSO, Carlos (UNCa)

SANTAMANS, Carla Daniela (UNJu)

SANTAPAOLA, Julia Eleonora (UNJu)

SANTAPAOLA, Maria Florencia (UNJu)

SARACHO BOTTERO, Amalia Carolina (UNT)

SOSA, Gustavo Sebastian (UNJu)

SOSA, Mabel (UNSE)

TABOADA, Natalia Verónica (UNSE)

TARIFA, Enrique Eduardo (UNJu)

TARIFA, Héctor Ramón (UNJu)

TENTOR, Julio Hernán (UNJu)

TERRIBILE, Elsa Marcela (UNSE)

TOLABA, Ana Carolina (UNJu)

TREJO GONZALEZ, José Adolfo (UNT)

VALDEZ, Silvana Karina (UNSa)

VEGA, Ariel Alejandro (UNJu)

VELAZQUEZ, Isabel del Carmen (UNSE)

VICENTE, María Soledad (UNSa)

VIDALI, Esteban (UCA)

VILABOA, Pablo (UAI)

VILLEGAS, Mercedes (UNSa)

VITURRO, Carmen Ines (UNJu)

WIERNA SANCHEZ ITURBE, Rita Victoria (UNSa)

ZACUR MARTÍNEZ, José Luis (UNJu)

ZUTARA, María Silvina (UNJu)

ÍNDICE

AMBIENTE

Degradación de bolsas de polietileno 12

Evaluación exploratoria parcial de parámetros acústico 20

Caracterización del suelo, agua y especies 27

Diversidad de macroinvertebrados acuáticos del Humedal 37

TIC, Sistemas de Información y Sostenibilidad: 45

CIENCIAS BÁSICAS DE LA INGENIERÍA

Investigación experimental y teórica de la estructura molecular y de las propiedades espectroscópicas del alcaloide magnoflorina 56

Integración de contenidos de Álgebra lineal utilizando Scilab: un estudio exploratorio con estudiantes de Ingeniería 63

Nuevo enfoque para cuantificar la irreversibilidad de cualquier proceso espontáneo 72

COMPUTACIÓN E INFORMÁTICA

Explorando el potencial de GPT-4 para obtener la certificación Project Management Professional (PMP) 86

Entornos Virtuales de Aprendizaje usables basados en affordance 96

Diagnóstico Automático de Tuberculosis en Radiografías de Tórax aplicando Aprendizaje 108

Sistema de gestión de base de datos de salud pública para covid-19 120

Beneficios de aplicar elementos de gamificación en comercio electrónico B2C de PyMEs 130

CIENCIA DE LA TIERRA

Alternativas para el diseño de una red de apoyo para georreferenciación de parcelas en Santiago del Estero 139

Realización de una red de apoyo topográfico y de control para un futuro relevamiento de una estructura edilicia con escáner LIDAR. 146

Metodología para generar un mde a partir de interferometría Sar o Insar, utilizando imágenes ENVISAT 154

Estudio geológico e hidrogeológico de las Sierras de Guasayán - Departamento Choya - Santiago del Estero 162

FORESTAL, AGRONOMÍA Y ALIMENTOS

Evaluación sensorial de infusiones artesanales elaboradas con materiales foliares de plantas del Noroeste Argentino 172

Uso de TIC en áreas rurales periurbanas de San Salvador de Jujuy. Caso las mujeres de la feria Yala-Lozano-León. 179

Biomordientes: uso de especies nativas de Santiago del Estero para el teñido y mordentado de lanas de oveja. 186

Mercados frutihortícolas en San Salvador de Jujuy, importancia en la cadena de valor. Menos desperdicios menos hambre 193

Secado por atomización de leche de cabra descremada: características del polvo. 201

Herramienta para medir el nivel de madurez de la cultura de inocuidad alimentaria en una organización. 208

Frutos de Schinus areira L. de Jujuy: Evaluación de propiedades biológicas para su empleo en infusiones artesanales. 215

Incorporación de leche de cabra en polvo bio-enriquecida con fructanos en la elaboración de yogur..... 222

Cambios en las propiedades tecno funcionales de la harina integral de maíz durante la extrusión alcalina en variedades con diferente dureza de endospermo. 229

Efecto del envasado del bagazo de cerveza en la digestibilidad y en el contenido de compuestos fenólicos 238

Formulación, aceptabilidad y capacidad antioxidante de panes libres de gluten elaborados con harinas funcionales 245

Caracterización de una película biodegradable a base de alginato de sodio con agregado de un extracto vegetal antioxidante 254

Propiedades físicas, texturales y químicas de galletas enriquecidas con hidrolizado de quínoa 263

Almacenamiento de snacks de zapallo deshidratados por dos métodos. Efecto de envases en las características físico-químicas..... 270

Efecto de la aplicación de radiación UV-C sobre la calidad de berenjena (Solanum melongena L.) IV gama 278

Evaluación de la calidad de carne de novillos terminados con bagazo de limón húmedo en reemplazo del grano de maíz 289

Harina integral extruida de maíz andino (Zea mays) raza Chulpi: Aplicación en panadería sin gluten. 296

Caracterización molecular de la respuesta a ácidos biliares de una bacteria láctica potencialmente probiótica empleando espectroscopia Raman 305

Situación de la problemática de malezas en algodón en la zona de riego en Santiago del Estero..... 313

Estabilidad y propiedades reológicas de mayonesas reducidas en grasa utilizando almidón de maíz andino como sustituto de grasa 318

Análisis del perfil fisicoquímico y contenido de minerales de mieles artesanales de Jujuy..... 328

Capacidad antioxidante y perfil fitoquímico de extractos alcohólicos de especies vegetales nativas de Santiago del Estero..... 338

Efecto de la alimentación en la calidad de canales y carne de cabritos producidos en Santiago del Estero 346

Utilización de Opuntia spp. en la ración de cabras lecheras. Estudio de la producción y composición láctea. 353

Análisis de la Ley Nacional N° 25080 de Inversiones para Bosques Cultivados, en Argentina y en la provincia de Santiago del Estero 363

Evaluación de extractos del bagazo cervecero en células oviductales cultivadas in vitro..... 369

Perfil de acidificación de fermentos lácticos comerciales para la elaboración de quesos untables de cabra con fermentación ácida 377

Estudio del mecanismo de acción insecticida del aceite esencial de hojas de Aloysia polystachya contra Rhipibruchus picturatus 384

Obtención de hidrolizados proteicos con actividad antimicrobiana a partir de suero de leche de cabra empleando pepsina y rennet 392

Evaluación de la calidad microbiológica de ovoproductos deshidratados almacenados por un largo período de tiempo..... 403

GESTIÓN DE LA EDUCACIÓN EN INGENIERÍA

Lineamientos para una enseñanza contextualizada 410

Interpretación de Autovalores y Autovectores de una matriz desde la perspectiva de los Modos de Pensamiento 420

Propuesta de capacitación docente para mejorar las metodologías de enseñanza 428

Percepciones de estudiantes universitarios de la enseñanza B-Learning en el curso de ingreso, en tiempos de pospandemia..... 435

Competencias requeridas por el docente universitario y las necesidades de formación..... 442

Implicancias de la Inteligencia Artificial 2.0 en el Proceso de Enseñanza-Aprendizaje (PEA) en la educación superior 452

Duración real de las carreras de Ingeniería de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán 460

Explorando la complejidad del currículum de dos carreras de ingeniería mediante la teoría y la visualización de grafos. 467

Evaluación de un taller de implementación del programa Scilab en Cálculo Numérico..... 477

Innovación tecnológica en la educación superior. Experiencia de una cátedra, desde la EaD hasta ChatGPT: sin miedo al éxito. 486

Una perspectiva relacional de las actitudes hacia la Matemática 495

Diseño de dispositivo virtual de autoevaluación como herramienta de apoyo para rendir examen final 504

INGENIERÍA, SOCIEDAD Y CULTURA

El diseño industrial con una mirada inclusiva. Experiencia de trabajo en conjunto con asociaciones sin fines de lucro. 523

Estado del arte de las presas argentinas, necesidad de evaluación de su seguridad sísmica y métodos de análisis..... 533

Repositorio institucional de acceso abierto de la FTyCA-UNCA en apoyo a la ciencia abierta..... 543

Inteligencia cultural y competencias interculturales de estudiantes de ingeniería en tiempos de globalización 551

Estudio experimental dinámico del impacto en vigas 560

TECNOLOGÍAS BÁSICAS Y APLICADAS

Diagnóstico sobre los pilares de Abastecimiento Responsable en una empresa de frutilla de Tucumán 568

Análisis estacionario de configuraciones alternativas de la red eléctrica de 132 kV del área centro del sistema NOA 575

Laboratorio Remoto aplicados a la enseñanza de la programación de microcontroladores 583

Evaluación del desempeño sísmico de una presa de materiales sueltos 592

Creación de un Centro de gestión y monitoreo hidrometeorológico en el municipio de Tafí Viejo. Tucumán 601

Dimensionando el consumo y eficiencia energética de los sistemas de alumbrado de Argentina, datos del lustro de transición a la tecnología SSL 607

Factores que influyen en la purificación decarbonato de litio calidad batería..... 614

Controlador óptimo con observación de estados basado en el principio del máximo de Pontryagin de bajo costo computacional 622

Diseño y simulación de una torre de recuperación de amoniaco en el proceso Solvay. Número óptimo de platos 629

Estudio Comparativo del costo y rendimiento de columnas de carbonatación de 2 y 3 secciones..... 640

Prototipo de un secadero solar para secar snack de carne de cabra..... 648

Efecto del escaldado con Ilex paraguariensis en la actividad antioxidante y en los caracteres organolépticos de arvejas 656

Comportamiento de conservadoras portátiles con técnicas de enfriamiento pasivo en periodo estival de la puna jujeña 664

Microbalanza de cristal de cuarzo: método para el análisis de la viscoelasticidad de lágrimas artificiales 676

Estudio de la respuesta mecánica de mezclas de suelo-sal..... 684

Diseño óptimo de un esquema de simbiosis industrial en la provincia de Tucumán 693

Desarrollo de funciones en MATLAB para diseño de filtros FIR óptimos de ranuras múltiples empleando el algoritmo de Remez 702

Análisis y aplicación de un controlador de Lyapunov en el control de dirección de móvil terrestre autoguiado (UGV)..... 711

Análisis de distribuciones de series temporales aplicada a la tendencia climática para la región del Valle de Catamarca..... 721

Mapeo de resistividades eléctricas de suelos, del sudoeste de la provincia de Santiago del Estero..... 729

Estudio de la influencia de la parte estructural de un equipo de lecho fluidizado en la pérdida de carga del proceso 736

Influencia de las tomas de presión en la pérdida de carga de un lecho fluidizado bidimensional..... 744

Producción de NH3 mediante reactores de plasma frío para la reducción catalítica selectiva de gases de combustión 752

Uso de Herramientas Geotecnológicas para la Modelización de Expansión Urbana de la Ciudad de Santiago del Estero..... 758

Predicción del nivel del dique Las Maderas usando redes neuronales artificiales 767

Introducción a los modelos arquitectónicos y de comportamiento de agentes inteligentes en la ingeniería de videojuegos..... 774

AMBIENTE

Degradación de bolsas de polietileno conteniendo diferentes aditivos prodegradantes

Alonso, María S.[1]; Madregal, Sergio O.[1];Escalier, Víctor I.[1]; Siles, Carolina L.[1];Viturro, CarmenI.[1]

(1) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.
msalonso12@gmail.com; somadregal@yahoo.com.ar;viives.1990.2009@gmail.com; carosiles95@gmail.com; *carmeniviturro@gmail.com*

RESUMEN

Este trabajo fue realizado con el objetivo de evaluar y comparar la oxodegradabilidad del material plástico de bolsas de polietileno de alta densidad, utilizadas y desechadas como residuos en Jujuy, y que contienen, según sus leyendas impresas, en un caso, el aditivo prodegradante d2w y, en el otro, el aditivo Addiflex.El tratamiento de las muestras se realizó en una cámara provista de radiación UV-A, a 50ºC, 50% de humedad, con aireación, y durante 1000 h.La evaluación del proceso aplicado se realizó a través de la medición de las propiedades de tracción de las muestras al final del tratamiento y de controles no tratados, como así también se obtuvieron imágenes de la superficie de muestras sin tratar y tratadas, mediante microscopía electrónica de barrido.Se encontró una disminución de las propiedades de tracción debido al tratamiento, en especial para la deformación a rotura, con hasta 99 % de disminución de los valores para los controles respectivos, y una modificación en el aspecto de las superficies por observación con MEB.Los resultados obtenidos no difieren de manera apreciable entre un material y otro, y ensayos de biodegradación, en curso, permitirán una comparación adicional de los materiales estudiados.

ABSTRACT

This work was carried out with the objective of evaluating and comparing the oxodegradability of the plastic material of high-density polyethylene bags, used and discarded as waste in Jujuy, and which contain, according to their printed legends, in one case, the prodegrading additive d2w and, in the other, the additive Addiflex. The treatment of the samples was carried out in a chamber equipped with UV-A radiation, at 50ºC, 50% humidity, with aeration, and for 1000 h. The evaluation of the applied process was carried out through the measurement of the tensile properties of the samples at the end of the treatment and of untreated controls, as well as through images of the surface of untreated and treated samples by means of scanning electron microscopy. A decrease in the tensile properties due to the treatment was found, especially for the deformation at break, with up to 99% decrease in the values for the respective controls, and a modification in the appearance of the surfaces by observation with SEM. The results obtained do not differ appreciably between one material and another, and ongoing biodegradation tests will allow an additional comparison of the studied materials.

Palabras clave: degradación-polietileno-aditivo-prodegradante

Keywords: degradation-polyethylene-additive-prodegrading

1. INTRODUCCIÓN

Los plásticos incluyen una amplia gama de materiales sintéticos o semisintéticos, que están formados principalmente por carbono, hidrógeno y oxígeno. Se utilizan ampliamente debido a sus características de alta resistencia y durabilidad, y especialmente por su bajo peso, obteniendo productos cada vez más livianos ((Tribedi y Dey, 2017; Picone y Seraffini, 2020).

Latinoamérica genera aproximadamente el 4% de la producción y el 8% del consumo total de plásticos a nivel mundial (Arias et al., 2020), mientras que en Argentina en el año 2017, se

produjeron 1650 millones de toneladas de plásticos, de los cuales 620 mil toneladas fueron de polietileno(Arias et al. 2020; Secretaría de política económica, 2019).

Muchos residuos plásticos, se desechan como parte de los residuos sólidos urbanos, lo que constituye un gran problema que se debe resolver.Algunas de las propiedades de los plásticos como su alto peso molecular y su naturaleza hidrofóbica, les otorgan alos plásticos convencionales una elevada resistencia a los ataques biológicos y una gran duración, lo que se convierte en un problema en el momento de desecharlos. Para solucionar esta situación, a fines del siglo XX se comenzó a estudiar la forma de desarrollar nuevos plásticos diseñados deliberadamente para envejecerlos con la aplicación de calor y luz. A estos plásticos se les incorporó deliberadamente sustancias prooxidantes o prodegradantes (a menudo compuestos poliinsaturados, iones de metales de transición o complejos metálicos como ditiocarbamatos), destinadas a fomentar la generación in situ de grupos carbonilo, o la incorporación dentro del polímero de los propios grupos carbonilo. Estos grupos funcionales actúan como iniciadores de la fotooxidación y degradación térmica de las cadenas poliméricas hidrocarbonadas. Y esta acción repetitiva conduce a cadenas poliméricas de menor peso molecular, que serían más susceptibles a la degradación biológica (EuropeanCommissionEnvironment, 2016).

En este siglo, en Argentina, tal como en otros países, el uso de los materiales plásticos se ha desplazado hacia los comercializados como "oxo-degradables" o como “oxo-biodegradables”, que contienen aditivos que pueden iniciar la degradación. Estos plásticos están destinados a sufrir una degradación abiótica (por ejemplo, fragilización y daño mecánico) y procesos de degradación biótica (es decir, biodegradación), o sea una aceleración de la degradación por luz y/o calor, hasta que finalmente sean completamente bioasimilados. (Plastivida CIT, 2009; Ammala et al., 2011; EuropeanCommissionEnvironment, 2016).

El mecanismo de la degradación en la que participan los aditivos prodegradantes incluye la captación de oxígeno molecular, y el proceso es favorecido por la acción de agentes físicos, tales como el calor y radiaciones, como la radiación ultravioleta (Arutchelvi et al., 2008).

Existen diferentes aditivos utilizados a nivel mundial para mejorar la oxodegradabilidad, y así una posterior biodegradabilidad, de los plásticos, entre los que se encuentran, para el caso del polietileno, los denominados comercialmente, entre otros: TDPA, Renatura, Reverte, Addiflex y d2w (Abdelmoez, 2021).De acuerdo a lo informado por Abdelmoez et al. (2021) y por Vázquez et al. (2013), el d2w contiene estearatos metálicos, principalmente de manganeso, en tanto Addiflex contiene diferentes carboxilatos metálicos, que son agregados a los polímeros de base en diferentes proporciones, comprendidas generalmente entre 1 % y 3 % para el d2w, y entre 1 % y 6 % para el caso del Addiflex.

En Jujuy, desde la segunda mitad de la década pasada, una vez que paulatinamente se dio cumplimiento efectivo a la ley provincial Nº 5630 (Legislatura de Jujuy, 2009), se implementó de manera generalizada el expendio, en supermercados y otros comercios, de bolsas que, en sus leyendas, indican contener diferentes aditivos que favorecerían su oxodegradabilidad.

Sin embargo, la afirmación de que las bolsas de polietileno que actualmente se utilizan son oxodegradables (inclusive al “100%”, según aclaran algunas leyendas impresas) no está sustentada en estudios que así lo demuestren, para los casos particulares de las bolsas empleadas a nivel local, y a nivel regional en el Noroeste argentino.

Es en este sentido que ha sido realizado el presente trabajo, con el objetivo de determinar el grado de degradación de estas bolsas, conteniendo diferentes aditivos para su oxodegradación, y comparar los resultados entre sí, para evaluar si existen, y en qué medida, diferencias debido al prodegradante utilizado en la formulación del material de base polimérica utilizado para fabricarlas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos de este estudio fueron realizados con bolsas de supermercado, utilizadas actualmente en Jujuy, que habitualmente, luego de un solo uso, son desechadas con los demás residuos sólidos urbanos y que, sin tratamiento previo, se disponen directamente en el relleno sanitario local.

Estas bolsas son expendidas por la misma empresa de supermercados, y, de acuerdo con sus leyendas impresas, están fabricadas con

polietileno de alta densidad, además de contener, en un caso, “d2w”, y, en el otro, “Addiflex”, los cuales habrían sido agregados para mejorar o promover la oxodegradabilidad de estos materiales plásticos.
Las bolsas tienen un espesor de 16±1 µm, el cual fue medido con un espesímetro, resultando así de un espesor algo menor a las expendidas a nivel local (y regional, en sucursales del NOA) hasta hace algunos años, y que no contenían aditivos prodegradantes (Alonso et al., 2017).
De ambos tipos de bolsas utilizadas para este estudio, o sea con uno y otro aditivo prodegradante, se cortaron muestras para pruebas de tracción, de acuerdo con la Norma 13316 de IRAM (1989).
Las probetas se obtuvieron tanto por cortes en el sentido longitudinal de las bolsas, como por cortes en el sentido transversal de las mismas.Una serie de muestras de cada tipo se sometió a pruebas de resistencia a la tracción sin tratamiento previo, obteniéndose así las características iniciales u originales del material de estudio, o sea de los denominados controles.
Las demás muestras fueron primero expuestas a radiación UV y a calor en una cámara deenvejecimiento o intemperismo acelerado, provista de tubos de luz UV-A (350-400 nm) y de aireación intermitente, con un sistema de regulación de temperatura a alrededor de 50ºC y manteniendo una humedad de 50%, la cual es el valor promedio anual para San Salvador de Jujuy, en donde se realizaron los estudios.El tiempo de tratamiento fue de 1000 horas, y, una vez concluido el mismo, a las probetas de cada serie de muestras tratadas también se les practicaron pruebas de resistencia a la tracción.
Se ensayaron 5 o más muestras de cada serie, para cada sentido de corte, ya sea para las muestras sin exposición a los agentes físicos aplicados, o para cada tiempo de exposición a radiación UV y calor.
El tiempo de exposición en la cámara fue elegido en función de que otros autores, de Quito, Ecuador (Quiroz et al., 2009) informaron haber hallado una degradación importante de polietileno de alta densidad sin y con aditivos prodegradantes (no especificados), aplicando luz UV-A y calor durante 500 h a 1000 h, dado que, si bien para esos tiempos de tratamiento no determinaron las propiedades mecánicas de los materiales expuestos, en cambio sí hallaron diferencias importantes con respecto al material original, sin tratar, a través de otras técnicas para evaluar la degradación ocurrida (espectroscopía infrarroja y calorimetría diferencial de barrido).
El equipo utilizado para las pruebas de tracción trabajó a una temperatura promedio de 23 ±2ºC, y con una velocidad de alrededor de 1 mm/s.
Se obtuvieron resultados de: esfuerzo (tensión) de tracción en MPa, y de alargamiento porcentual de las muestras, como así también del módulo elástico de las mismas.Las pruebas de tracción y los cálculos correspondientes a las variables determinadas se realizaron según normas de origen nacional e internacional (ASTM, 2002; ASTM, 2003; IRAM Argentina, 1989).
Por otra parte, se expusieron a tratamiento en cámara con radiación ultravioleta y calor a muestras de bolsas con uno y otro aditivo, las cuales, una vez concluido el tratamiento de 1000horas, y al igual que las muestras control respectivas, fueron observadas con microscopía electrónica de barrido (MEB), obteniéndose imágenes de las diferentes superficies.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados promedioobtenidos al practicar las pruebas de tracción, para las muestras sin exposición y expuestasal tratamiento con radiación UV y calor, se presentan en las Tablas 1 a 4.

Tabla 1. Características de tracción de los controles sin tratar cortados en dirección longitudinal

Material de bolsa	Elongación a rotura [%]	Tensión a rotura [MPa]	Módulo elástico [MPa]
PEAD + d2w	350 ± 20	37 ± 2	900 ± 100
PEAD +Addiflex	360 ± 20	37 ± 2	900 ± 100

Tabla 2. Características de tracción de las muestras tratadas cortadas en dirección longitudinal

Material de bolsa	Elongación a rotura [%]	Tensión a rotura [MPa]	Módulo elástico [MPa]
PEAD + d2w	6 ± 1	18 ± 1	600 ± 100
PEAD +Addiflex	9 ± 1	21 ± 1	600 ± 100

Tabla 3. Características de tracción de los controles sin tratar cortados en dirección transversal

Material de bolsa	Elongación a rotura [%]	Tensión a rotura [MPa]	Módulo elástico [MPa]
PEAD + d2w	560 ± 30	37 ± 2	800 ± 100
PEAD +Addiflex	540 ± 20	37 ± 2	800 ± 100

Tabla 4. Características de tracción de las muestras tratadas cortadas en dirección transversal

Material de bolsa	Elongación a rotura [%]	Tensión a rotura [MPa]	Módulo elástico [MPa]
PEAD + d2w	9 ± 1	23 ± 1	700 ± 100
PEAD +Addiflex	7 ± 1	18 ± 1	800 ± 100

En las Fig. 1 y 2 se muestran, superpuestas, curvas representativas de tensión en función del alargamiento porcentual, para muestras cortadas en cada uno de los dos sentidos estudiados.

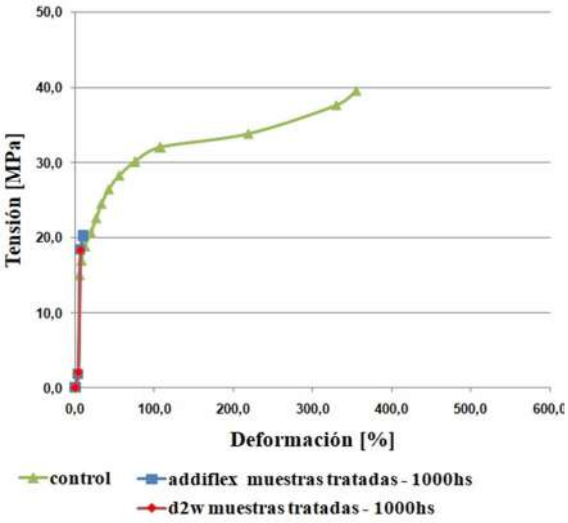


Figura 1: Curva de Tensión-Deformación de muestras de control y tratadas cortadas longitudinalmente.

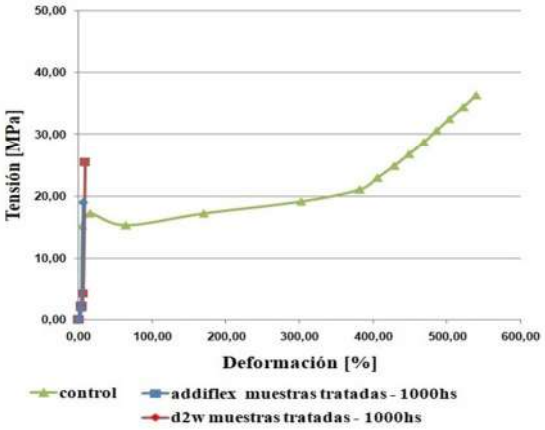


Figura 2: Curva de Tensión-Deformación de muestras de control y tratadas cortadas transversalmente.

Se observan algunas diferencias en los resultados de los ensayos de tracción para cada variable determinada, según la orientación de corte de las muestras. Las diferencias son especialmente notorias si se comparan los respectivos alargamientos a rotura para aquellas muestras que no fueron expuestas a radiación y calor en la cámara (características iniciales o controles), lo cual es un claro indicativo de la anisotropía de los materiales estudiados.Luego del tratamiento, se observa que las características de alargamiento porcentual de las muestras son, en general, más parecidas, para ambas orientaciones de corte, como consecuencia de que el efecto de la exposición a los agentes físicos aplicados fue mayor para las muestras de corte transversal que para las de corte longitudinal.

Remersaro et al. (2010) encontraron resultados cualitativamente similares, al exponer a radiación ultravioleta y calor bolsas de polietileno utilizadas en Uruguay, de 23µm de espesor, conteniendo un aditivo prodegradante (no especificado), ya que, habiendo partido de un material con propiedades de tensión máxima y elongación a rotura diferentes según la dirección de corte, luego del tratamiento las muestras tuvieron valores similares de las propiedades, independientemente de la dirección de corte de las mismas.

Comparando los resultados obtenidos, mostrados en las Tablas 1 a 4 y Fig. 1 y 2, es posible observar que en todos los casos hubo una disminución de la tensión a rotura debido al tratamiento aplicado, siendo los valores de estas variaciones alrededor de 40%-50% menores de los de los controles respectivos.En cuanto a la

elongación a rotura, también ocurrió una disminución, aunque mucho más importante que para la tensión máxima, resultando que la variación de la elongación de las muestras por el tratamiento, con respecto a los valores de los controles, fue de entre 98% y 99%.Una disminución proporcionalmente más importante de la deformación a rotura con respecto a la elongación máxima, también fue encontrada por otros autores, para muestras de polietileno con aditivo oxo-degradante, luego de un tratamiento en cámara con radiación ultravioleta y calor, con relación a las propiedades del material sin tratar.Éste es el caso de quienes estudiaron la degradación de polietileno con prodegradantes, por exposición en cámaras de intemperismo acelerado: Remersaro (2010) quienes, con un aditivo no especificado, lograron una reducción de la deformación a rotura de 99 % y de tensión máxima de entre 50 % y 88 %, según la dirección de corte, con respecto a las muestras sin tratar; Portillo et al. (2016), quienes, con películas de 50µm obtenidas a partir de polietileno de alta densidad y con el oxo-degradante d2w, lograron, para diferentes irradiancias y dosis, una disminución por el tratamiento de 33 % para la tensión a rotura y de 96 % para la elongación a rotura; y Aldas et al. (2020), quienes con láminas de polietileno de alta densidad de 20µm de espesor y comparando la respuesta para esos materiales con los aditivos TDPA-3% y d2w-3%, informaron sólo la elongación a rotura, habiendo encontrado una disminución para esa propiedad para las muestras tratadas, con respecto a los controles, de 95 % en el caso del material conteniendo 3 % del aditivo TDPA, en tanto la reducción de la deformación a rotura fue de 66 % para el caso del polietileno que contenía un 3 % de d2w como aditivo oxo-degradante.Otros autores, como Ojeda et al. (2009) quienes trabajaron con bolsas de supermercados de Sao Paulo-Brasil, de 15 micrómetros de espesor, de polietileno conteniendo el aditivo d2w, exponiéndolas a intemperie durante aproximadamente 3 meses, también encontraron una disminución de la tensión a rotura inferior (69%) que la de la elongación a rotura (85%). De modo que, efectivamente, la deformación a rotura resulta ser la variable más sensible entre las propiedades mecánicas de tracción, para el estudio de la degradación de polietileno con aditivos oxo-degradantes.

En cuanto al módulo elástico, de acuerdo con lo mostrado en las Tablas 1 a 4, se mantuvo aproximadamente constante, o disminuyó, pero en menor medida (10 % hasta 30 %) que las otras variables. Portillo et al.(2016) y Antelavaet al. (2020), éstos últimos habiendo expuesto bolsas de 200 micrómetros de espesor con un aditivo no especificado, son autores que informaron valores del módulo elástico o tensil, y en ambos casos, al hacer mediciones a tiempos variables, encontraron un comportamiento variable de esta propiedad, con un aumento y luego una disminución con el tiempo de tratamiento.

Por otra parte, cabe destacar que algunas muestras de este estudio mostraron una elevada fragilidad luego del tratamiento en la cámara de intemperismo acelerado: Es en particular el caso de las muestras longitudinales tratadas, de las bolsas que indicaban contener el aditivo d2w, lo que condujo a la rotura de alguna de ellas al manipularlas antes de realizar los respectivos ensayos de tracción. Otros autores, tales como Vázquez et al. (2013), para polietileno con d2w, y Santucho y Weimer (2015), quienes expusieron a radiación ultravioleta polietileno de alta densidad con Addiflex, informaron rotura total de las muestras al momento de extraerlas de la cámara de tratamiento, razón por la cual informaron no haber podido evaluar las propiedades mecánicas de tracción de las muestras tratadas, habiéndose limitado en tal caso a realizar otro tipo de análisis sobre los fragmentos obtenidos.

En la Fig. 3 y 4 se muestran las imágenes obtenidas por microscopía electrónica de barrido para las muestras de control y tratadas, para ambos materiales de las bolsas: con aditivo d2w y en el otro caso con Addiflex como prodegradante.

Los cambios observados, en el aspecto superficial de las muestras, podrían relacionarse con modificaciones en la cristalinidad del polímero, lo cual fue cuantitativamente estudiado por otros autores, con DSC, tal es el caso de Antelava et al. (2020), quienes, al igual que en el caso de este estudio, particularmente para las bolsas con d2w, encontraron, para las muestras tratadas, zonas rasgadas o fisuradas, a modo de microperforaciones en la superficie del material, que serían resultado del tratamiento por exposición a radiación ultravioleta y calor, y que podrían relacionarse con una disminución en las propiedades de tracciónconcon respecto a los controles, de las muestras tratadas, y, en último caso, con una mayor fragilidad de las mismas

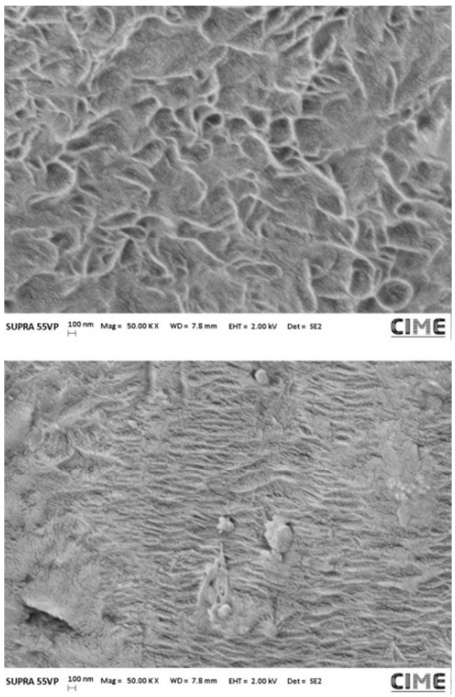


Figura 3: Imágenes MEB,a50000 X, de muestras de bolsas con d2w (control y tratada 1000 horas)

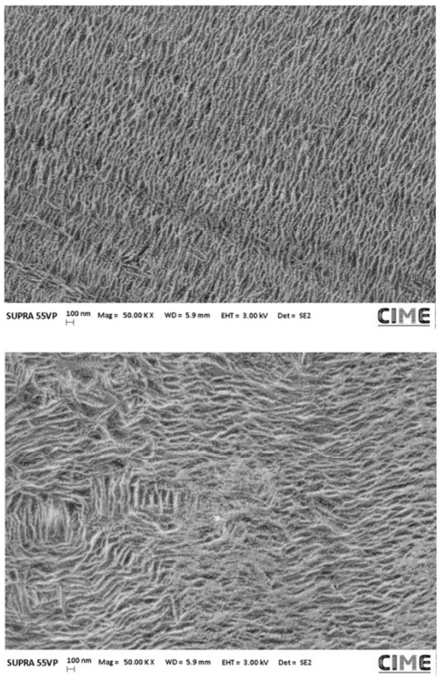


Figura 4: Imágenes MEB,a 50000 X, de muestras de bolsas con Addiflex (control y tratada 1000 horas)

CONCLUSIONES

A partir de los resultados de este trabajo, se concluye que:

1. Es posible lograr, en las condiciones aplicadas en este estudio, la oxo-degradación de bolsas de polietileno de circulación local, conteniendo d2w o Addiflex, lo cual se ha manifestado a través de las mediciones y observaciones realizadas.
2. En el caso de aplicar propiedades mecánicas de tracción como variables de evaluación de un proceso similar al presentado, se ha confirmado aquí lo encontrado en estudios anteriores de este equipo de investigación con polietileno sin aditivos prodegradantes, y por otros autores para polietileno con algún aditivo agregado, en el sentido que la variable más sensible a los cambios ocurridos por un tratamiento de oxo-degradación resulta ser la elongación o deformación a rotura.
3. A través de estos estudios, no se observa una diferencia entre la respuesta o comportamiento del polímero con uno u otro aditivo que, de acuerdo con las leyendas impresas, contendrían las bolsas con las que se realizaron los ensayos.
4. Los resultados de ensayos, en curso, de una biodegradación posterior al tratamiento de oxo-degradación, que conduzca a la transformación del polímero en otras sustancias, y la incorporación de técnicas adicionales para estudiar el grado de degradación alcanzado en esa otra etapa de estudios, permitirán saber si la presencia de los prodegradantes en las bolsas de este estudio permiten, el uno y/o el otro, y en qué medida, mejorar los resultados de una degradación biológica de estos materiales.

4. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al personal del Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jujuy, en el cual y con cuya máquina universal de ensayos de tracción pudimos realizar las mediciones presentadas en este estudio.Igualmente agradecemos a la Secretaría de Ciencia, Técnica y Estudios Regionales de la U.N.Ju. por el subsidio que nos permitió la realización de este trabajo.

5. REFERENCIAS

Abdelmoez, W., Dahab, I., Ragab, E. M., Abselsalam, O. a. y Mustafa Ahmad. (2021). Bio- and oxo-degradable plastics: Insights on facts and challenges. *Polymers Advanced Technologies*, 2021 (5), 1981-1996. https://doi.org/10.1002/pat.5253

Aldás, M., Valle, V., Aguilar, J., Pavon, C., Santos, R. y Luna, M. (2020).Ionizing radiation as adjuvant for the abiotic degradation of plastic bags containing pro-oxidant additives.*Journal of Applied Polymer Science*, 138(2), 49664. https://doi.org/10.1002/app.49664

Alonso, M. S., Escalier, V. I., Madregal, S. O., Ávalos, N. R., Pérez, G. S. y Garzón, L. M. (2017). Degradación de polietileno convencional por tratamiento con radiación ultravioleta y calor. *Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA*, 3, 348-352.

AmericanSocietyforTesting and Materials - ASTM. (2003). Standard Test Method for TensileProperties of Plastics (Norma D 638). ASTM

American Society for Testing and Materials - ASTM.(2002). Standard Test Method for Tensile properties of Thin Plastic Sheeting (Norma D882).ASTM.

Ammala, A., Bateman, S. Dean, K. Petinakis, E. Sangwan, P. Wong, S. Yuan, Q. Yu, L. Patrick, C. y Leong, K. H. (2011). An overview of degradable and biodegradable polyolefins.*Progress in Polymer Science*, 36(8), 1015-1049. https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2010.12.002

Antelava, A., Constantinou, A., Bumajdad, A., Manos, G., Dewll, R. y Al-Salem, S. M. (2020). Identification of comercialoxo-biodegradable plastics: Study of UV induced degradation in an effort to combat plastic waste accumulation. *Journal of Polymers and the Environment*, 28, 2364–2376. https://doi.org/10.1007/s10924-020-01776-x

Arias, A., Ronda, A., Gómez, N., Pazos, R., Amalvy, J., Dimauro, R., Ondarza, P., Miglioranza, K. y Marcovecchio, J. (2020). El impacto de los desechos plásticos y los microplásticos en la costa bonaerense. *Residuos Plásticos en Argentina: su Impacto Ambiental y en el Desafío de la Economía Circular*, 1, 102-126.

Arutchelvi, J., Sudhakar, M., Arkatkar, A., Doble, M., Bhaduri, S. y Uppara, P. V. (2008).Biodegradation of polyethylene and polypropylene.*IndianJournal of Biotechnology*, 7, 9-22.

Centro de Información Técnica - CIT. (2009). *Boletin técnico informativo Nº31*: Reciclado sustentable de residuos plásticos post consumo. Plastivida.

European Commission Environment.(2016). The Impact of the Use of "Oxo-degradable" Plastic on the Environment- Final Report.EuropeanUnion.

Instituto Argentino de Normalización - IRAM. (1989). Plásticos: ensayos de tracción (Norma 13316). IRAM

Legislatura de la Provincia de Jujuy. (2009). Ley n° 5630: Prohibición del uso de bolsas de material no biodegradable en el territorio de la provincia de Jujuy. Legislatura de Jujuy.

Ojeda, T. F. M., Dalmolin E., Forte M. M. C., Jacques R. J. S., Bento F. M. y Camargo F. A. O. (2009). Abiotic and biotic degradation of oxobiodegradablepolyethylenes. Polymer Degradation and Stability, 64: 965-970. https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2009.03.011

Picone, J.L. y Seraffini, G. (2020). La industria de reciclado del plástico en Argentina. *Residuos Plásticos en Argentina: su Impacto Ambiental y en el Desafío de la Economía Circular*, 1, 85-102.

Portillo, F., Yashchuk, O. y Hermida E. (2016). Evaluation of the rate of abiotic and biotic degradation of oxo-degradable polyethylene.*PolymerTesting*, 53, 58-69. http://dx.doi.org/10.1016/j.polymertesting.2016.04.022

Quiroz, F., Cadena, F., Sinche L., Chango I. y Aldás M., (2009). Estudio de la degradación en polímeros oxobiodegradables. *Revista Politécnica*, 30 (1), 179-191.

Remersaro, J., Medina, D., Hernández, M. y Latrónica, L. (2010). Ensayos físico-químicos para el estudio de la degradación de bolsas de supermercados. *Revista del Laboratorio Tecnológico del Uruguay*, (5), 48-53.

Santucho Weimer, N. M. (2015). *Estudio de factibilidad de degradación fotoquímica en films plásticos a base de poliolefinas*[tesis de grado]. Universidad de Belgrano.

Secretaria de Política Económica. (2019). *Informe de cadenas de valor: petroquímica – plástica –*

Abril 2019. Ministerio de Hacienda de la Nación.

Tribedi, P. y Dey S. (2017). Pre-oxidation of low-density polyethylene (LDPE) by ultraviolet light (UV) promotes enhanced degradation of LDPE in soil. *EnvironMonitAssess*, 9(12), 624. doi: 10.1007/s10661-017-6351-2. PMID: 29124475.

Vázquez, Y. V., Ressia, J., Barbosa, S. E. y Vallés E. (2013). Análisis del efecto de aditivos oxodegradantes sobre poliolefinas comerciales. *Actas del VII Congreso Argentino de Ingeniería Química y 2das Jornadas Argentinas de Seguridad de Procesos*.

Evaluación exploratoria parcial de parámetros acústicos y psicoacústicos en las Yungas Tucumanas

Diaz, Walter O.[1]; Gómez Marigliano, Ana C.[1,2];Vázquez,Juan P.[1]; Corrales Chahar, Fernanda[1]

(1) Laboratorio de Física Aplicada / Acústica, Depto. de Física, Facultad de Ciencias Exactas Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina – INFINOA/CONICET.
walter.diaz@fbqf.unt.edu.ar

(2) Investigador CONICET

RESUMEN

La determinación de los parámetros acústicos y psicoacústicos para evaluar el paisaje sonoro de una región rural o urbana es esencial para proteger la salud, mejorar la calidad de vida, preservar el medio ambiente y promover un desarrollo sostenible. Este artículo presenta parte de una investigación que tiene como objetivo analizar la relación entre los parámetros acústicos y psicoacústicos en ambientes rurales, avanzando en comprender cómo los aspectos acústicos del entorno rural pueden afectar la percepción y el bienestar psicológico de las personas que viven o visitan estas áreas. Para esto se lleva adelante un estudio exploratorio utilizando una combinación de mediciones acústicas objetivas y evaluaciones subjetivas para avanzar enla comprensión de la influencia de los sonidos rurales.

Palabras clave: contaminación acústica - paisaje sonoro – ruido -psicoacústica

ABSTRACT

The determination of acoustic and psychoacoustic parameters to assess the soundscape of a rural or urban region is essential to protect health, improve quality of life, preserve the environment and promote sustainable development. This article presents part of a research that aims to analyze the relationship between acoustic and psychoacoustic parameters in rural environments, advancing in understanding how the acoustic aspects of the rural environment can affect the perception and psychological well-being of people who live in or visit these areas. areas. For this, an exploratory study is carried out using a combination of objective acoustic measurements and subjective evaluations to advance in the understanding of the influence of rural sounds.

Keywords: noise pollution – soundscape – noise - psychoacoustics

1. INTRODUCCION

El entorno acústico de un ambiente rural difiere significativamente respecto de un entorno urbano debido a la menor densidad de población, a la presencia de espacios abiertos y a la menor cantidad de fuentes de ruido antropogénico. Sin embargo, los sonidos naturales y antropogénicos presentes en áreas rurales pueden generar efectos psicológicos y emocionales en las personas que los experimentan. La comprensión de esta relación entre los parámetros acústicos y psicoacústicos en ambientes rurales es fundamental para el diseño de entornos sonoros saludables y la mejora del bienestar de quienes viven en o visitan estas áreas.

El relevamiento de los parámetros acústicos y psicoacústicos realizados en estudios anteriores daba cuenta de un ambiente sonoro donde podían coexistir ruidos elevados y aun así no ser calificado como molesto. Otros estudios avanzaron sobre como definir las sensaciones primarias y espaciales relacionadas al ruido medioambiental. Las sensaciones primarias se refieren a las sensaciones básicas que percibe el sistema auditivo-cerebral en respuesta al ruido

ambiental, mientras quelas sensaciones principales de la fuente del ruido se identifican como el volumen, el tono, el timbre y la duración.
El modelo que suele ser utilizado para analizar esta situación se compone de fuente sonora, entorno acústico y evaluación de la molestia no toma en cuenta aspectos perceptivos, culturales y sociológicos. El enfoque desde el concepto de paisajes sonoros puede ayudar en este camino.(Ge et al., 2009)
Por lo tanto, la gestión de entornos urbanos, así como los rurales, no se reduce a la percepción de la molestia del ruido y a la caracterización solo a partir de descriptores energéticos acústicos en forma independiente.(Kang, 2006)
Es necesario ampliar estos estudios con una situación de contexto. Por esto es que los modelos de percepción de paisajes sonoros permiten ampliar el espectro de atributos en entornos acústicos, generalmente relacionados con confort y molestia frente al ruido.(Liu et al., 2014)(Lobo Soares & Bento Coelho, 2016)
Laevaluaciónobjetivarelacionada exclusivamente con parámetrosenergéticos no permite apreciar variaciones temporales ni espaciales de las fuentes sonoras que conforman los entornos acústicos.(Soeta & Shimokura, 2010)
En este sentido es útil evaluar descriptores binauralesacústicos para comparar como están relacionados con los atributos perceptuales.
El objetivo principal esevaluar el paisaje sonoro de forma tal de obtener información temporal y espacial que pueda permitir relacionar los aspectos objetivos y subjetivos.
Se puede realizar la caracterización objetiva de un entorno acústico considerando los aspectos energéticos, espaciales y temporales. Para esto se utilizan los parámetros asociados con la función de autocorrelación(ACF)y la función de correlación cruzada (IACF) así como los descriptores tradicionales.(Yoichi & Cariani, 2014)
La ACF describe las señales monoaurales de cada uno de los dos oídos y se usa para evaluar comportamientos temporales permitiendo determinar tono, timbre, sonoridad y duración. La IACF describe la correlación entre las dos señales monoaurales y es utilizada para evaluar los atributos espaciales de la señal sonora.
A partir de los estudios acústicos realizados en el Jardín Botánico de la Universidad Nacional de Tucumán (UNT), ubicado en la zona conocida como Yungas al pie del Cerro San Javier, se avanza en caracterizar dicha zona con los parámetros derivados de la ACF e IACF.(Diaz et al., 2022).

2 MATERIALES Y METODOS

2.1 *Evaluación de paisajes sonoros*

La evaluación de un paisaje sonoro se realiza mediante la técnica de caminatas sonoras (soundwalks), generalmente con mediciones de parámetros acústicos acompañadas de pruebas subjetivas a partir de cuestionarios. La ventaja de este tipo de evaluación es que permite una contextualización del entorno reflejando sus aspectos sonoros así como la complejidad presente.(Zhang & Kang, 2007)
Uno de los modelos perceptuales que se encuentra en la literatura sugiere que las propiedades informativas de los paisajes sonoros son mejores descriptores de percepción de la calidad de los paisajes sonoros que los descriptores de ruido en mediciones acústicas. Deriva en un modelo empírico que integra un gran número de atributos perceptuales potenciales en un pequeño número de dimensiones básicas de percepción de paisajes sonoros.(Axelsson et al., 2010)
El otro modelo muy utilizado también presenta un modelo bidimensional obtenido a partir de la técnica de diferencial semántico, usada en la valoración de eventos auditivos.(Cain et al., 2013)
Estos dos modelos han tenido aportes de muchos investigadores lo que ha logrado ampliar atributos perceptuales alternativos al confort y molestia del ruido. (Yong Jeon et al., 2011)
De estudios realizados en distintos ámbitos acústicos se observa que, si bien un grupo de atributos perceptuales presentan correlaciones aceptables con los parámetros acústicos convencionales como el nivel continuo equivalente ponderado A (Jeon et al., 2010), otro grupo no puede asociarse con descriptores acústicos como L_{Aeq} ni con los estadísticos máximos, mínimos, percentiles 10 y 90. Estos atributos indican actividad, movimiento, cantidad de eventos y variación temporal.
Por lo tanto, se pretende estudiar la complejidad de la caracterización sonora del lugar elegido y asociar parámetros que se refieren a comportamientosenergéticos monoaurales con

atributos que precisas de una descripción binaural y temporal.
En el trabajo realizado por nuestro grupo de investigación ya mencionado,(Diaz et al., 2022), se evalúa acústicamente la zona con el procedimiento de paseo o caminata sonora, mediante un estudio de caso que permite clasificar el paisaje sonoro analizando elementos acústicos y visuales.
En este nuevo abordaje se utiliza varios elementos de dicho estudio, para comparar con las metodologías alternativas comentadas.

2.2 *Parámetros acústicos relacionados con la energía*

Los parámetros acústicos relacionados con la energía estudiados en la situación abordada en esta investigación son:
Nivel continuo equivalente (L_{Aeq}), relacionado a la energía acústica promediada en el tiempo:

$$L_{AeqT} = 10\ log\left(\frac{1}{T}\int_T \frac{{p_A}^2(t)}{{p_0}^2}dt\right) \quad (1)$$

Donde p^2_Arepresenta la presión acústica ponderada A durante el proceso de medición.
Nivel de presión sonora máximo ponderado en frecuencia y ponderado en el tiempo (L_{max}). Según ISO 1996-1 es el mayor nivel de presión sonora ponderado en frecuencia y ponderado en el tiempo durante un intervalo de tiempo.
Nivel percentil ($L_{10} - L_{90}$), nivel de presión sonora ponderado en frecuencia y tiempo superado un porcentaje de tiempo considerado. Los mas utilizados son los percentiles 10, 50 y 90.
Se utilizarán también las diferencias de percentiles $L_{10} - L_{90}$ y el rango de SPL, que representan las variaciones del nivel de presión acústica.

2.3 *Parámetros Acústicos medidos relacionados con comportamientos espaciales y temporales*

Si bien la caracterización energética de los entornos acústicos es importante, este es solo uno de los aspectos que deben ser abordados en el estudio de los paisajes sonoros. La inclusión de parámetros relacionados a características temporales y espaciales ayuda a la descripción de los entornos acústicos

Las sensaciones principales de la fuente del ruido se identifican como el volumen, el tono, el timbre y la duración. Estas sensaciones se describen mediante la función de autocorrelación (ACF) de la señal. Los factores temporales extraídos de la ACF están asociados con el hemisferio izquierdo de los hemisferios cerebrales humanos. (Ando, 2001)
Parámetros acústicos derivados de las funciones de autocorrelación y de las funciones de correlación cruzada se han usado para la descripción de comportamientos espaciales y temporales en Acústica Arquitectónica.
La función de correlación cruzada interaural (IACF) describe la correlación entre las dos señales monoaurales y se usa para evaluar atributos espaciales como la localización de la fuente en el plano horizontal, el ancho aparente de la fuente y el envolvimiento subjetivo.
Distintos estudios han avanzado en relacionar la molestia del ruido con factores temporales (ACF) y con factores espaciales (IACF).(Fujii et al., 2002).
El comportamiento espacial y temporal de los sonidos aporta información de las fuentes sonoras, de los lugares donde se encuentran y de los campos sonoros generados. Las sensaciones temporales están relacionadas con patrones temporales y retrasos de tiempo mientras que las espaciales están relacionadas con aspectos espaciales del sonido y del campo sonoro.
Los aspectos monoaurales son evaluados a través de la función de autocorrelación (ACF) que puede ser de largo termino o de corta duración. La ACF de largo término $\Phi p(\tau)$ se define:

$$\emptyset_p(\tau) = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{2T}\int_{-T}^{T} p'(t)p'(t+\tau)dt \quad (2)$$

Donde p' = p(t)*s(t) y s(t) es la sensibilidad del oído
La función de autocorrelación normalizada $\Phi p(t)$ se puede obtener de:

$$\emptyset_p(t) = \frac{\emptyset_p(\tau)}{\emptyset_p(0)} \quad (3)$$

Donde $\Phi p(0)$ es la energía representada en el origen del retraso. Permite estimar parámetros como el ancho de amplitud alrededor del origen del tiempo de retraso definido $W_\Phi(0)$, el retraso temporal del primer pico de la ACF τ_1 y la amplitud del primer pico de la ACF Φ_1. Estos

parámetros se encuentran asociados principalmente con aspectos tímbricos y periódicos de los sonidos.(Kaieda et al., 2009).
En la figura 1 se muestran tales parámetros.

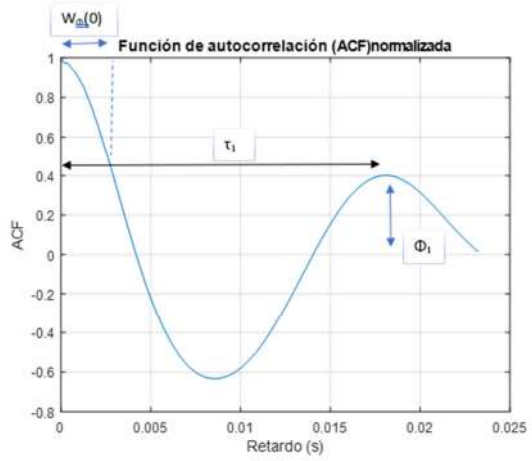


Figura 1: Parámetros temporales derivados de ACF

Con la envolvente de Φp(t) se puede calcular la duración efectiva de la envolvente normalizada ACF τe, que es el tiempo de retraso que presenta la envolvente de ACF de deΦp(t) hasta decaer a su percentil 10. T_e es una medida de coherencia temporal durante la cual la señal es autosimilar y no degradada por reverberaciones.
La función de autocorrelación cruzada interaural normalizada Φlr(t), permite calcular el IACC que representa la magnitud de la máxima correlación cruzada interaural. Presenta una gran relación con la localización de fuentes sonoras en el plano horizontal.(Ando, 2010)
Otro de los descriptores asociados a la IACF es el WIACC, que es el ancho del máximo pico. Está relacionado con el ancho aparente de la fuente y la localización de las fuentes sonoras.(Ando, 2015)

2.4 *Condiciones de las mediciones*

Se realizaron grabaciones sonoras del tráfico de la caminata. Se eligieron los puntos de medición a partir de las experiencias e impresiones de los participantes, lo que es coherente con el concepto original de la caminata sonora tal como se concibió en los estudios iniciales. Sin embargo, el número de puestos de evaluación puede diferir entre los participantes, por lo que es difícil comparar las respuestas subjetivas entre los participantes. La duración de esta caminata sonora puede variar entre 30 a 90 minutos según la longitud de la ruta a pie y el número de posiciones de evaluación. Como es un caso de estudio se hizo la elección de una cantidad de 7 puntos de medición para poder estimar una cantidad adecuada posteriormente. En la figura 2 se muestran los lugares de medición.

Figura 2: Zonas de medición de la caminata sonora

El punto de medición se ubica en la misma caminaría. Los sonidos fueron recibidos por dos micrófonos de condensador de 1/2 pulgada colocados en las posiciones de los oídos de una esfera que representaba una cabeza humana. La medición binaural se adaptó para evaluar las sensaciones espaciales del campo sonoro. Esta cabeza ficticia estaba hecha de espuma de poliestireno de 20 mm de espesor con un diámetro de 200 mm. Las posiciones de las orejas se fijaron a 1,5 m del suelo.

Se utilizaron para las mediciones un sonómetro de acuerdo con normativas IEC651 tipo 2, ANSI S1.4, para mediciones de campo, con el rango de medición de 30 dB 130 dB a frecuencias entre 20 Hz y 8 kHz. Resolución de 0.1 dB. En ponderación A y Slow. Se calibró el equipo con un calibrador IEC942 type 2, ANSI S1.40.
Para grabar los sonidos en cada estación se utiliza una grabadora Zoom H1n XYa una frecuencia de muestreo de 44,1 kHz. El software utilizado para los cálculos de las variables psicoacústicas es el pSySound3 basado en Matlab.

2.5 *Evaluación subjetiva de los paisajes sonoros*

Para esta evaluación se incorporó una metodología complementaria a la utilizada en trabajos anteriores.
Para la descripción del entorno acústico se utilizó un modelo que permitió incluir una descripción general, así como los sonidos fundamentales de cada paisaje sonoro.(BROWN et al., 2016)
Para determinar los sonidos fundamentales se realizaron pruebas de evaluación subjetiva en el laboratorio a un grupo de 15 personas. Los resultados fueron contrastados con lo observado en encuestas realizadas en el lugar de medición.

3 RESULTADOS

Los resultados obtenidos para los descriptores energéticos se muestran en la siguiente figura.

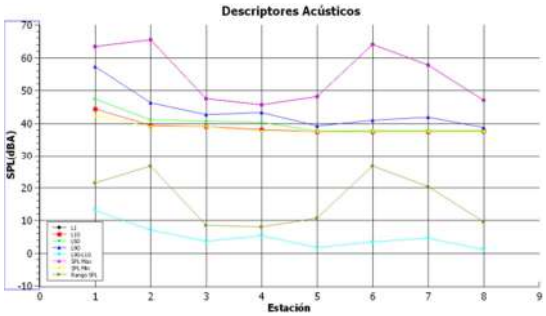


Figura 3: Valores de descriptores acústicos energéticos

Se observa una gran diferencia entre el rango de las mediciones percentiles y el rango del NPS medido, lo que indica fuentes sonoras que emitieron señales cortas en el tiempo y de gran amplitud, detalle que suele no aparecer en las magnitudes que se promedian.
Para evaluar el ruido que varía temporalmente, calculamos el tiempo corto de funcionamiento ACF e IACF. Se utilizaron factores temporales y espaciales de tiempo corto para describir las sensaciones primarias y espaciales de un campo de sonido.
Las evaluaciones para las distintas estaciones sonoras se muestran en la figura:

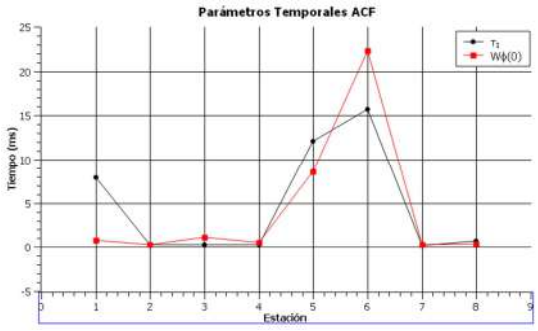


Figura 4: Valores del tiempo de retardo del primer pico principal (τ1) y del ancho de amplitud alrededor del origen (Wφ(0))

En concordancia con la observación de párrafos anteriores, en la estación 6 se observa una variación temporal mayor que las obtenidas para las otras estaciones.
En la figura siguiente se observan los valores del primer pico principal en cada una de las estaciones.

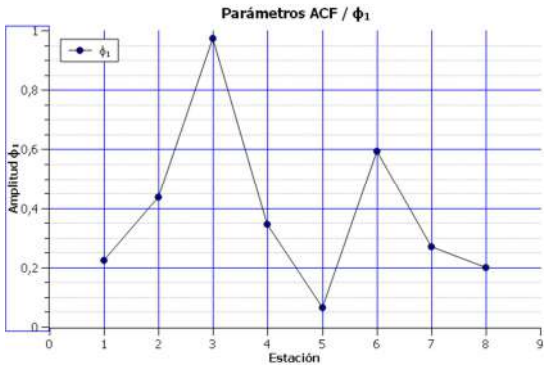


Figura 5: Amplitud del primer pico principal

En la figura siguiente están los valores de los percentiles relacionados con la envolvente normalizada de la ACF.

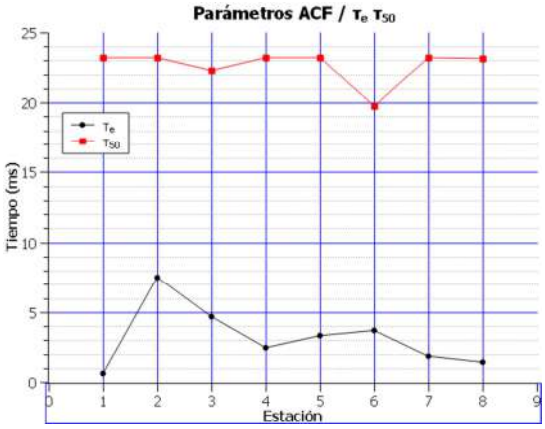


Figura 6: Valores del decaimiento de la envolvente del percentil 10 (τe) y el ancho del percentil 50 (τ50)

El presente trabajo solo aborda la medición y breve análisis de los parámetros energéticos y temporales a partir de la ACF. Se deja para un posterior desarrollo el análisis espacial de la IACF a partir de las mediciones realizadas.

4 CONCLUSIONES

En el presente trabajo se avanzó en la caracterización acústica de una zona rural de Tucumán con metodologías complementarias que toman en cuenta, además de descriptores energéticos, descriptores que toman en cuenta las variaciones temporales y espaciales del campo sonoro. A la vez se evalúa subjetivamente el entorno con otra metodología que, en una próxima publicación, será comparada con la de caminata sonora. El trabajo llega hasta el análisis de los parámetros derivados de la autocorrelación cruzada. Se deja para posteriores estudios la influencia de la correlación cruzada interaural.

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de Tucumán por el financiamiento del proyecto de investigación a través de su Secretaría de Investigación SCAIT.

5 REFERENCIAS

Ando, Y. (2001). A THEORY OF PRIMARY SENSATIONS AND SPATIAL SENSATIONS MEASURING ENVIRONMENTAL NOISE. *Journal of Sound and Vibration*, *241*(1), 3-18. https://doi.org/10.1006/jsvi.2000.3272

Ando, Y. (2010). *Auditory and Visual Sensations*. Springer New York. https://doi.org/10.1007/b13253

Ando, Y. (2015). *Opera House Acoustics Based on Subjective Preference Theory* (Vol. 12). Springer Japan. https://doi.org/10.1007/978-4-431-55423-3

Axelsson, Ö., Nilsson, M. E., & Berglund, B. (2010). A principal components model of soundscape perceptiona). *The Journal of the Acoustical Society of America*, *128*(5), 2836-2846. https://doi.org/10.1121/1.3493436

BROWN, A. L., GJESTLAND, T., & DUBOIS, A. D. (2016). Acoustic Environments and Soundscapes. En *Soundscape and the Built Environment*. CRC Press.

Cain, R., Jennings, P., & Poxon, J. (2013). The development and application of the emotional dimensions of a soundscape. *Applied Acoustics*, *74*(2), 232-239. https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2011.11.006

Diaz, W., Gomez Marigliano, A., & Lazarte, M. (2022, setiembre). *Caminata Sonora en las Yungas Tucumanas*. XV Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingenieria del NOA, Salta.

Fujii, K., Atagi, J., & Ando, Y. (2002). *Temporal and Spatial Factors of Traffic Noise and Its Annoyance*. https://www.semanticscholar.org/paper/Temporal-and-Spatial-Factors-of-Traffic-Noise-and-Fujii-Atagi/f3cefac9d1553de4af04b9268d34665b001fcb17

Ge, J., Lu, J., Morotomi, K., & Hokao, K. (2009). Developing Soundscapegraphy for the Notation of Urban Soundscape: Its Concept, Method, Analysis and Application. *Acta Acustica United With Acustica*. https://doi.org/10.3813/AAA.918128

Jeon, J. Y., Lee, P. J., You, J., & Kang, J. (2010). Perceptual assessment of quality of urban soundscapes with combined noise sources and

water sounds. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *127*(3), 1357-1366. https://doi.org/10.1121/1.3298437

Kaieda, S., Kawai, K., Yano, T., & Ando, Y. (2009). *A study on measures of timbre of electric guitar sounds in terms of power spectrum and auto correlation function*.

Kang, J. (2006). *Urban Sound Environment* (0 ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781482265613

Liu, J., Kang, J., Behm, H., & Luo, T. (2014). Effects of landscape on soundscape perception: Soundwalks in city parks. *Landscape and Urban Planning*, *123*, 30-40. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.12.003

Lobo Soares, A. C., & Bento Coelho, J. L. (2016). Urban park soundscape in distinct socioculturaland geographical contexts. *Noise Mapping*, *3*(1). https://doi.org/10.1515/noise-2016-0016

Soeta, Y., & Shimokura, R. (2010). *SOUND QUALITY EVALUATIONS BASED ON HUMAN AUDITORY-BRAIN SYSTEM*. https://www.semanticscholar.org/paper/SOUND-QUALITY-EVALUATIONS-BASED-ON-HUMAN-SYSTEM-Soeta-Shimokura/bdf617371955bee6bd742ac56abe46f0936e76f3

Yoichi, A., & Cariani, P. (2014). *Auditory and Visual Sensations* (1.ª ed.). Springer New York, NY. https://link.springer.com/book/10.1007/b13253

Yong Jeon, J., Jik Lee, P., Young Hong, J., & Cabrera, D. (2011). Non-auditory factors affecting urban soundscape evaluation. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *130*(6), 3761-3770. https://doi.org/10.1121/1.3652902

Zhang, M., & Kang, J. (2007). Towards the evaluation, description, and creation of soundscapes in urban open spaces. *Environment and Planning B: Planning and Design*, *34*(1), 68-86. https://doi.org/10.1068/b31162

Caracterización del suelo, agua y especies vegetales del Parque Industrial de Palpalá, Jujuy, Argentina.

Saluzzo, Luciana[1]; De Paul, Marcela A.[2];MuhanaSenn, María S.[3]; Enríquez, Lorena C.[3]; Vilte, María P.[3]; Viturro, Carmen I. [1]

(1)Laboratorio PRONOA, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy-CIITeD-UNJu CONICET.
lsaluzzo@fi.unju.edu.ar; carmeniviturro@gmail.com

(2) Centro de Estudios Interdisciplinarios de Calidad de Agua de Ambientes de Altura, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Jujuy.
marceladepaul@fca.unju.edu.ar

(3) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.
silvina_senn@yahoo.com.ar;lopifenriquez@gmail.com; paovilte@hotmail.com

RESUMEN

Se caracterizó en un área de 5.000m^{2}el grado de contaminación con plomo del suelo, agua y vegetación del pasivo ambiental existente en la periferia de empresas del Parque Industrial "Alto La Torre" (Palpalá-Jujuy).Con un muestreo sistemático se determinó concentración de Pb(CPb)por espectrometría de Absorción Atómica. Se determinó el factor de bioconcentración(FBC) y el factor de translocación(FT) para evaluar la acumulación de Pb en las plantas. Las CPb en suelo fueron diversas (62,79±9,86a 7.073,0±94,75ppm) ys e encontraron valores que superaron los valores guía. En agua, las CPb estuvieron por encima de los niveles guía (mínimo medido: 346µg/mL).Las muestras vegetales de Pasto Cubano y Totoramostraron las mayoresCPb/kg de biomasa total, 545.65±36.71y 642.56±71.04ppm, respectivamente. En todos los casos el FT fue >1, indicando buena capacidad de traslocación de Pb de raíz a parte aérea.El Pasto cubano acumuló Pb con un FBC>1.Los resultados demuestran presencia de sales y sustancias ácidas, ajenas a la composición natural de un ambiente sano, y contaminación con Pb en agua, suelo y vegetación.

ABSTRACT

In an area of 5,000m^2, the degree of lead contamination of the soil, water and vegetation of the existing environmental liability on the periphery of companies in the "Alto La Torre" Industrial Park (Palpalá-Jujuy) was characterized. With systematic sampling, the concentration of Pb(CPb) was determined by atomic absorption spectrometry. The bioconcentration factor (BCF) and the translocation factor (FT) were determined to evaluate the accumulation of Pb in the plants. The CPb in soil were diverse (62.79±9.86 to 7,073.0±94.75ppm) and values were found that exceeded the guide values. In water, CPb were above guide levels (minimum measured: 346µg/mL). The plant samples of Cuban Grass and Totora Grass showed the highest CPb/kg of total biomass, 545.65±36.71 and 642.56±71.04ppm, respectively. In all cases, the TF was >1, indicating a good capacity for translocation of Pb from the root to the aerial part. The Cuban grass accumulated Pb with a BCF>1. The results show the presence of salts and acid substances, alien to the natural composition of a healthy environment, and Pb contamination in water, soil and vegetation.

Palabras claves: factor de traslocación - factor de bioconcentración- contaminación con Pb - parque Industrial.

Keywords: translocation factor - bioconcentration factor - Pb contamination - Industrial park.

1. INTRODUCCIÓN

El aumento de la industrialización, del desarrollo económico y tecnológico de los países, y principalmente la actividad minera en auge, trae consigo, además de los beneficios, la posibilidad de contaminación cuando los procesos que involucran estas actividades no se realizan empleando tecnologías que minimicen el impacto ambiental y por lo tanto sean ambientalmente compatibles. Es probable que al no proceder en este sentido se generen pasivos ambientales vinculados al deterioro, a veces irreversible, de la calidad del aire, agua y suelo.

Según Cuentas Alvarado *et al.*, (2019), aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, actualmente abandonadas o inactivas y que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad se consideran "pasivos ambientales".Sin embargo, otras actividades económicas esenciales que desarrollan las sociedades contemporáneas generan pasivos ambientales, ya sea por la explotación de los bienes naturales o por la disposición de sus residuos, los que provocan presiones sobre los componentes de la diversidad biológica, la fragmentación de los ecosistemas expuestos y, por consiguiente, la modificación de las condiciones naturales originales de los espacios donde se desarrollan o disponen sus residuos (Bruguera-Amarán, 2020).

Según NessnerKavamura y Esposito (2010), algunos metales pesados cumplen un rol importante en reacciones bioquímicas, esenciales para el crecimiento y desarrollo de microorganismos, plantas y animales. Sin embargo, en altas concentraciones, pueden formar compuestos no específicos y originar efectos citotóxicos. Ciertos metales funcionan como "venenos" metabólicos, ya que pueden reaccionar e inhibir una serie de sistemas enzimáticos; algunos iones de estos elementos (Hg^{2+}, Cd^{2+} y Ag^{+}) forman complejos tóxicos inespecíficos en la célula, lo que produce efectos tóxicos para algunas funciones biológicas. Elementos como el Hg, As, Sn, Tl y Pb, pueden formar iones órgano-metálicos liposolubles capaces de penetrar membranas y acumularse en las células.

Entre los elementos contaminantes más peligrosos por sus efectos tóxicos y acumulativos en organismos vivos se encuentra el plomo (símbolo químico: Pb). El plomo ingerido, inhalado o absorbido por la piel es altamente tóxico para los seres vivos en general. El suelo, el agua y la vegetación de pasivos ambientales contaminados con plomo representan canales de ingreso(directos e indirectos) de estos contaminantes a los organismos vivos, en especial a los seres humanos. Cuando este metal alcanza niveles tóxicos provoca la disminución de la fotosíntesis en las plantas y el desarrollo de anemia en mamíferos. Es tóxico para los sistemas endocrino, cardiovascular, respiratorio, inmunológico, neurológico, y gastrointestinal, además puede afectar la piel y los riñones.Prieto Méndez *et al*. (2009), dice que en el ser humano, el plomo puede tener una amplia variedad de efectos biológicos según el nivel y la duración de la exposición. Se han observado efectos en el plano subcelular y efectos en el funcionamiento general del organismo que van desde la inhibición de las enzimas hasta la producción de acusados cambios morfológicos y la muerte. Dichos cambios se producen a dosis muy diferentes; en general, el ser humano que se está desarrollando es más sensible que el adulto.

El plomo no es biodegradable y persiste en el suelo, en el aire, en el agua y en los hogares. Nunca desaparece, se acumula en los sitios en los que se deposita y puede llegar a envenenar a generaciones de niños y adultos a menos que sea retirado.

Para la evaluación de la eficiencia de acumulación de metal en las plantas, Alderete-Suarez *et al.* (2019)emplea el factor de bioconcentración (FBC) y el factor de translocación (FT). La capacidad de una planta para acumular metales de los suelos se puede estimar utilizando el FBC, que se define como la relación de concentración de metales en la biomasa con respecto a la del ambiente externo, como el suelo. La capacidad de una planta para traslocar metales desde las raíces a la parte aérea se mide usando el FT, que se define como la relación de concentración de metal en la parte aérea respecto a la de lasraíces. El enriquecimiento ocurre cuando un contaminante absorbido por una planta no se degrada rápidamente, lo que resulta en una acumulación en la planta. El proceso de fitoextracción generalmente requiere la translocación de metales pesados a las partes de la planta fácilmente cosechables, es decir, la parte aérea. Al comparar FBC y FT, podemos comparar la capacidad de

diferentes plantas para acumular metales de los suelos y trasladarlos a la parte aérea. Las plantas tolerantes tienden a restringir las transferencias suelo-biomasa y raíz-partea aérea, y por lo tanto tienen mucha menos acumulación en su biomasa, mientras que las hiperacumuladoras absorben y trasladan activamente los metales a su biomasa aérea. Según González*et al.* (2022), las plantas que exhiben FT y particularmente valores de FBC inferiores a uno no son adecuadas para la fitoextracción. Las plantas con un alto FBC y un FT bajo tienen el potencial de fitoestabilización.

La Ciudad de Palpalá, Jujuy, es conocida como Ciudad Industrial debido a la cantidad de empresas radicadas en las zonas industriales, siendo la industria de fundición de minerales una de las actividades de mayor relevancia.

La zona industrial "Alto La Torre", se encuentra ubicada sobre ruta provincial N°1 zona El Remate, Palpalá- Jujuy. En la zona se encuentran radicadas una veintena de empresas, de las cuales aproximadamente el 30 % de ellas trabaja el plomo de alguna manera: lo procesan, reprocesan o reciclan. Otras tantas, cerraron sus puertas y fueron abandonadas. Las actividades realizadas en el parque industrial, en su mayoría derivadas de la actividad minera de la provincia, han causado la degradación de los ecosistemas de la zona, producto de la falta de gestión de residuos e ineficiente tratamiento de efluentes industriales. Según Bruguera-Amarán (2020), este tipo de modificaciones irreversibles de las condiciones naturales originarias, con disposición de contaminantes, han sido calificadas y descritas como Pasivos Ambientales.

En consecuencia, en el parque industrial Alto La Torre y su periferia, existirían pasivos ambientales contaminados con plomo (Pb).

El objetivo del presente trabajo es realizar un diagnóstico del pasivo ambiental presente en el Parque Industrial Alto La Torre, previo al estudio del empleo de especies vegetales para fitorremediarlo.

1 METODOLOGÍA

1.1 *Muestreos*

Se realizó un muestreo sistemático de suelo, agua y vegetación en un área de 5.000m^{2}de acuerdo a Montes de Oca-Jiménez*et al.* (2022). Consiste en la selección de muestras siguiendo un patrón regular en el área de estudio.

Figura 1. Imagen satelital con Puntos de Muestreos en el pasivo ambiental, Parque Industrial Alto La Torre de Palpalá, Jujuy.

Se trabajó en diez puntos de muestreogeorreferenciados. En la Fig.1 se muestra la ubicación de los puntos en una imagen satelital del pasivo ambiental. En la tabla 1 se detalla el tipo de muestras tomadas en cada punto de muestreo y las coordenadas de ubicación geográfica de cada punto.

Tabla 1.Tipo de muestras tomadas en cada punto de muestreo y coordenadas de ubicación.

ID	Tipo de muestra	Coordenadas
Pto 1	Suelo superficial y Suelosubsuperficial	S24°15´46,2" W65°10´58,2"
Pto 2	Suelo superficial y Suelosubsuperficial	S24°15´46,7" W65°10´58,7"
Pto 3	Suelosubsuperficial y Material vegetal	S24°15´32"; W65°13´18"
Pto 4	Suelosubsuperficial y Material vegetal	S24°15´22"; W65°13´18"
Pto 5	Suelosubsuperficial y Material vegetal	S24°15´46,8"; W65°10´58"
Pto 6	Suelosubsuperficial y Material vegetal	S24°15´48,7"; W65°10´58,4"
Pto 7	Agua	S24°15´46,3"; W65°10´58,6"
Pto 8	Suelosubsuperficial y Material vegetal	S24°15´47,9"; W65°10´58,7"
Pto 9	Agua	S24°15´48,7"; W65°10´57,6"
Pto10	Agua	S24°15´48,6"; W65°10´57,1"

Se trabajó conmuestras de suelo compuestas de dos estratos: superficial (hasta los 15 cm) y subsuperficial (entre los 15 a 30 cm).

Las muestras superficiales reflejan la deposición de contaminantes transportados por aire o

depositados recientemente; mientras que las de tipo subsuperficial representan el componente percolado y proveniente de derrames de líquidos o entierros (Montes de Oca-Jiménez *et al.,* 2022). Para comparación, se tomaron muestras de suelo control o testigo en zonas alejadas del sitio en estudio, pero con las mismas características del suelo de interés.

Las plantas fueron colectadas con raíz incluida y se muestreo el suelosubsuperficial adyacente a las raíces. Las especies vegetales colectadas se herborizaron para su posterioridentificación botánica en el Centro de Investigaciones y Estudios en Diversidad Vegetal (CIEDIVE) de la Facultad de Cs. Agrarias-UNJu.

Todas las muestras de suelo y vegetal se transportaron y almacenaron en bolsas de polietileno cerradas con precinto de seguridad. Se evitó la exposición a temperaturas extremas y se resguardó de la luz, hasta su tratamiento en laboratorio.

Las muestras de agua se recogieron en recipientes estériles de polipropileno, se acidificaron con ácido nítrico al 2%, se trasladaron y almacenaron refrigeradas a 5°C hasta su análisis.

1.2 *Preparación y análisis de las muestras de suelo*

Las muestras de suelo se homogeneizaron por mezclado en recipientes de polipropileno y se redujeron por cuarteoen campo a muestras de aproximadamente 5 kg. Posteriormente se realizó el procedimiento de tamizado (tamiz redondo, Diámetro:ø 200 / 203 mm, Luz de malla:3mm) y cuarteo en el laboratorio de PRONOA, Facultad de Ingeniería-UNJu hasta obtener muestras de 1kg de suelo.

Se conformó una muestra compuesta para cada estrato (superficial ysubsuperficial), mezclando homogéneamente las submuestras de suelo ytomando una fracción de muestra compuesta de 1 kg de suelo aproximadamente.

Para caracterizar el suelo de las muestras compuestas se midieron, según normas ASTM, los parámetros de la Tabla 2. Las determinaciones se realizaron en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias (UNJu).

Se determinó la concentración de Pb en el suelo de cinco puntos de muestreo y las dos muestras compuestas. El suelode cada muestra se secó hasta peso constante y luego se realizó una digestión con HNO_3, se filtró con papel de filtro Whatman y se llevó a volumen final. La concentración de Pb en las muestras se determinó conun espectrómetro de Absorción Atómica marca Agilent Technologies, serie 200,en el Laboratorio de Análisis Geoquímicos y Ambientales deASiNOA de Alex StewartInternational Argentina S.A. Los resultados se expresaron en mg de Pb/kg de peso seco de suelo.

1.3 *Preparación y análisis de las muestras vegetales*

Se tomaron muestras representativas de cinco especie diferentes, de aproximadamente 700g de material vegetal cada una, de poblaciones de entre cinco y siete plantas. Cada especie corresponde a un punto de muestreo distinto. Las plantas colectadas se lavaron con agua destilada y se dejaron secar protegidas de la luz solar directa. Se separó las muestras vegetales de parte aérea y de raíz para cada planta.El material se secó en estufa de esterilización FAETA hasta peso contante. En todas las muestras se determinó la concentración de Pb. Se procedió a la carbonización y calcinación del material vegetal hasta cenizas blancas, y posterior digestión ácida con HNO_3 de las cenizas. Se filtró con papel de filtro Whatman y se llevó a volumen final. Se determinó la concentración de Pb de las muestras porespectrometría de Absorción Atómicaen el Laboratorio deASiNOA. Los resultados se expresaron en mg de Pb/kg de biomasa seca.

1.4 *Preparación y análisis de las muestras de agua*

Se tomaron tres muestras de agua en distintos puntos de muestreo. Cada muestrase tomó sumergiendo el envase en elagua a 1/3 de la superficie, evitando la extracción de la película superficial. El volumen de cada muestra fue de entre 500 y 1.000 mL. Para las muestras de agua, se midió en campo pH, Conductividad eléctrica (Ce), Sólidos Disueltos Totales (SDT) y Salinidad (Sal.) empleando un Sensor Multiparamétrico PCS Trest 35, Oakaton, y Oxígeno Disuelto (OD), empleando Fotómetro Hanna HI96732, método Winkler. Posteriormente las muestras fueron acidificadas con HNO_3 al 2%y conservadas a 5°C hasta la determinación de la concentración de Pb, en µg/mLde agua,por

espectrometría de Absorción Atómica, en el Laboratorio de ASiNOA.

Tabla 2. Análisis de las muestras de suelo del pasivo ambiental.

IDENTIFICACION			
Profundidadmuestreo (cm)	0-30	0-15	15-30
Horizonte/ Id. Campo	Suelotestigo sin contaminación	Suelo superficial del pasivoambiental	Suelosubsuperficial del pasivoambiental
ANALISIS GRANULOMETRICO			
Arcilla (%)	10,00	17,50	20,00
Limo (%)	22,50	30,00	30,00
Arena (%)	67,50	52,50	50,00
Clase Textural USDA	FA	FA	F
REACCION DEL SUELO			
pH en agua 1: 2,5	6,98	3,90	3,90
NUTRIENTES			
MateriaOrgánica (%)	3,91	0,97	1,00
CarbonoOrgánico (%)	2,27	0,56	0,58
Nitrógeno total (%)	0,19	0,06	0,06
Relación C/N	12	9	10
Fósforo extractable ($mg.kg^{-1}$)	50	10	6
Potasiodisponible ($mg.kg^{-1}$)	386	171	163
CATIONES DE INTERCAMBIO			
Calcio ($cmol^{(+)}.kg^{-1}$)	9,50	4,00	2,00
Magnesio ($cmol^{(+)}.kg^{-1}$)	8,00	5,00	8,50
Sodio ($cmol^{(+)}.kg^{-1}$)	0,10	0,24	0,21
Potasio ($cmol^{(+)}.kg^{-1}$)	0,99	0,44	0,42
PASTA SATURADA			
Ce ($dS.m^{-1}$)	0,431	1,582	1,009
pH	6,75	3,69	3,68

Referencias: FA: francoarenoso F: franco

TECNICAS EMPLEADAS: Textura: MétodoBouyoucos. Materiaorgánica: MétodoWalkey y Black. Nitrógeno Total: MétodoKjeldhal. FósforoAsimilable: Método de Bray-Kurtz 1. Cationes de intercambio: Extracción con acetato de amonio 1 N a pH 7. Calcio y MagnesioIntercambiables: Determinaciónporcomplexometría. Sodio y PotasioIntercambiable: Fotometría de llama. Conductividadeléctrica: Conductimetría. Cloruros: Volumetría. Las determinaciones deCa y Mg intercambiables no se consideran en muestrasquecontienencarbonatos de Calcio y Magnesio.

1.5 *Análisis de datos*

Los valores de Pb en agua y suelo de las muestras se compararon con los valores guía establecidos en los Anexos IV y V del Decreto Reglamentario N° 5980: "Evaluación de impacto ambiental y normas técnicas de calidad ambiental para la protección de la atmósfera, de las aguas y del suelo".

Se evaluó la eficiencia de acumulación del contaminante en las plantas colectadas, con el factor de bioconcentración (FBC) y el factor de translocación (FT). "El FBC se define como la relación de concentración del metal en la biomasa y el suelo, valores del FBC > 1 implican que la especie es acumuladora, FBC > 10 que la especie es hiperacumuladora, sin embargo, si el FBC <1 la especie es exclusora. El FT es la relación de concentración de metal de la parte aérea a la raíz.Un FT > 1 indica que la planta se puede usar para fitoextración, FT <1 indica que la planta no trasloca de manera efectiva los metales a sus partes aéreas y tiene un potencial para la fitoestabilización" (Alderete-Suarez *et al*., 2019).

$$FT = \frac{CPb\ parte\ aérea}{CPb\ raíz} \quad (1)$$

$$FBC = \frac{CPb\ biomasa}{CPb\ suelo} \quad (2)$$

CPbparteaérea = concentración de Pb de la parte aérea de la planta (mg/kg);
CPbraíz = concentración de Pb en la raíz de la planta (mg/ kg);
CPbsuelo = concentración de Pb en el suelo (mg /kg);
CPbbiomasa = concentración de metal en la biomasa total de la planta (mg/kg).

Se realizóel tratamiento estadístico de los resultados empleandoInfoStat 2008, aplicando ANAVA, prueba de Tukey HSD (p–valor = 0,05), entre otros paquetes estadísticos.

2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.1 *Caracterización del suelo*

En la Tabla 1 se muestran los resultados de los ensayos de caracterización del suelo. El suelo fue franco arenoso, con bajo contenido de nutrientes, elevada Conductividad eléctrica (Ce) (1,58dSm^{-1}) y un bajo pH (3,9) en relación a la muestra de suelo no contaminado.

Cremona y Enríquez (2020), aseguran que el pH y laCe son dos determinaciones que condicionan de manera particular distintos procesos y reacciones del suelo y nos brindan diferente información a la hora de la toma de decisiones. El pH es un indicador del ambiente que se genera en la solución del suelo, y condiciona todas las reacciones químicas y biológicas que en ella ocurren. Según la clasificación en función del pH dada por los autores, el suelo superficial y subsuperficial del pasivo ambientalen estudio, es un suelo extremadamente ácido.

El pH no afecta la dotación sino la disponibilidad de nutrientes. En un rango de pH de 6 a 7, la mayoría de los nutrientes están en niveles razonables de disponibilidad. A los valores de pH del suelo del pasivo ambiental (<4), la mayoría de los nutrientes son escasos, como pudo verificarse en los análisis realizados (ver Tabla 2).

La Ce del suelo es una medida indirecta de la concentración de sales. De acuerdo a la clasificación dada por Cremona y Enríquez (2020), el suelo del pasivo ambiental es levemente salino.

Las sales disueltas tienen cargasque retienen a las moléculas de agua con una fuerza que compite con la que tienen que hacer las plantas para tomarla desde el suelo. De esta manera, la salinidad reduce la disponibilidad de agua paralas plantas, mediante el efecto desecante que provoca en el suelo.

El monitoreo del pH y la Ce del suelo en ambientes naturales puede ser muy útil para detectar cambios en el uso de latierra que afecten la dinámica de agua de un sitio o paisaje. Esto puede ayudar a explicar las respuestas observadas en la vegetación del pasivo ambiental del Parque Industrial Alto La Torre de Palpalá (Fig. 2).

Figura 2. Aspecto del suelo y vegetación del pasivo ambiental, Parque Industrial Alto La Torre de Palpalá, Jujuy.

Las muestras de suelo tomado en la periferia de las raíces de las plantas mostraron CPb muy heterogéneas, se encontraron valores que superaronlas CPbguíaen suelo para uso agrícola (375ppm) e industrial (1.000ppm) del Anexo V del Decreto Reglamentario N° 5980. Los valores mínimos y máximos encontrados de Pb en suelo fueron 62,79±9,86 y 7.073,0±94,75 mg/kg, respectivamente. Los puntos más cercanos a charcas temporales y pequeños cursos de agua superficial existentes en la zona, fueron los de mayor CPb y los que superaron los valores guía para uso industrial.

2.2 *Caracterización del agua*

Los resultados de los análisis de agua mostraron CPb por encima de todos los niveles guía de calidad de agua, establecidos en el Anexo IV del Decreto Reglamentario N° 5980. Los valores guías establecidos para la protección de vida acuática en aguas dulces superficiales varia de 1 a 7 µg/mL de pendiendo de la dureza, para bebida de ganado es 100 µg/mL, y para bebida humana es de 50 µg/mL. La mínima CPb en agua medida en el pasivo ambiental fue de 346 µg/mL.

Tabla 3.Análisis de muestras de agua del Pasivo Ambiental Parque Industrial Alto La Torre.

Ref.	pH	CemS/cm	SDT ppt	Sal. Ppt	OD mg/L	Pbµg/mL
Pto 7	5,12	4,02	2,97	2,12	0	567
Pto 9	6,33	2,37	1,78	1,22	2,4	1.387
Pto 10	5,65	2,96	2,1	1,46	2,5	346

El pH del agua determina la solubilidad y la biodisponibilidad de sustancias químicas como nutrientesy metales pesados.Por ejemplo,además de afectar la cantidad y forma de fósforo que es más abundante en el agua, el pH también determina si está disponible para los organismos acuáticos. En el caso de los metales pesados, la solubilidad determina su toxicidad. Los metales son más tóxicos a valores de pH más bajos porque son más solubles.El pH mínimo encontrado en las muestras de agua fue de 5,12; valor inferior al mínimo del rango esperado para un cuerpo de agua natural e incluso para un efluente cloacal.

La Ce fue del orden de 4.000uS/cm, duplicó los valores máximos que puede alcanzar un efluente o agua natural de elevada salinidad. Como se mencionó anteriormente, laCe es un parámetro importante utilizado para estimar el nivel de sales disueltas. Estas sales incluyen tanto los nutrientes vegetales que se encuentran naturalmente en el agua como otros minerales disueltos. Así también, un parámetro común usado para describir la cantidad total de las sales disueltas en el agua es el SDT (Sólidos Disueltos Totales). LaCe es, por lo tanto, relacionada con los STD y se usa como una medida de la cantidad total de sales disueltas. En términos generales, cuanto mayor es la concentración de STD, mayor es la Ce, como pudo verificarse en los análisis realizados (ver Tabla 3).

La concentración de sales en agua, y por lo tanto, su Ce, afecta en gran medida el crecimiento de las plantas.La concentración de sales afecta a las plantas y su ambiente de dos maneras:

1) La presión osmótica: la absorción de agua por las plantas está regulada por la tasa de transpiración y la presión osmótica en las células de la raíz. El agua fluye a través de las membranas celulares de la raíz desde una concentración de soluto baja hasta una concentración de soluto alta. Por lo tanto, una alta concentración de sales en la solución del suelo o en el agua de riego, reduce la disponibilidad de agua para las plantas.

2) Toxicidad de iones específicos: aunque el nivel de conductividad eléctrica no proporciona información sobre la presencia de iones específicos en la solución, la alta conductividad eléctrica de la solución del suelo o la solución nutritiva a menudo puede implicar una alta concentración de iones particulares, que son potencialmente tóxicos para la planta, en este caso alta concentración de Pb.

El nivel de Oxígeno Disuelto (OD) puede ser un indicador de cuán contaminado está el agua y cuán bien puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal. Generalmente, un nivel más alto de OD indica agua de mejor calidad. Si los niveles de OD son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir. Los niveles de OD típicamente pueden variar de 0 a 18 partes por millón (ppm) aunque la mayoría de los ríos y riachuelos requieren un mínimo de 5 a 6 ppm para soportar la diversidad de vida acuática. Los niveles por debajo de 3 ppm dañan a la mayor parte de los organismos acuáticos y por debajo de 2 ó 1 ppm, mueren. Los organismos acuáticos necesitan oxígeno para vivir. Los peces, los invertebrados, las plantas y las bacterias aeróbicas requieren oxígeno para respirar. Los valores de OD del agua del pasivo ambiental, dan cuenta de cuerpos de agua parcial o totalmente estancos con escasa y nula vida acuática.

2.3 *Caracterización de la vegetación*

Las especies vegetales muestreadas en el Pasivo Ambiental se muestran en las Fig. 3. Las mismas fueron identificadas botánicamente por el CIEDIVE de la Facultad de Cs. Agrarias-UNJu como: a) *Tecomastans* (L.) Juss. exKunth (Bignoniaceae), “Guarán amarillo”; b) *Typhadomingensis*Pers. (Typhaceae), “totora”; c) *Tithoniatubaeformis*(Jacq.) Cass. (Asteraceae), “pasto cubano”; d) *Vachellia aroma* (Gillies ex Hook. &Arn.) Seigler&Ebinger (Fabaceae), “tusca”;y e) *Geoffroeadecorticans*(Gillies ex Hook. &Arn.) Burkart (Fabaceae), “Chañar”.

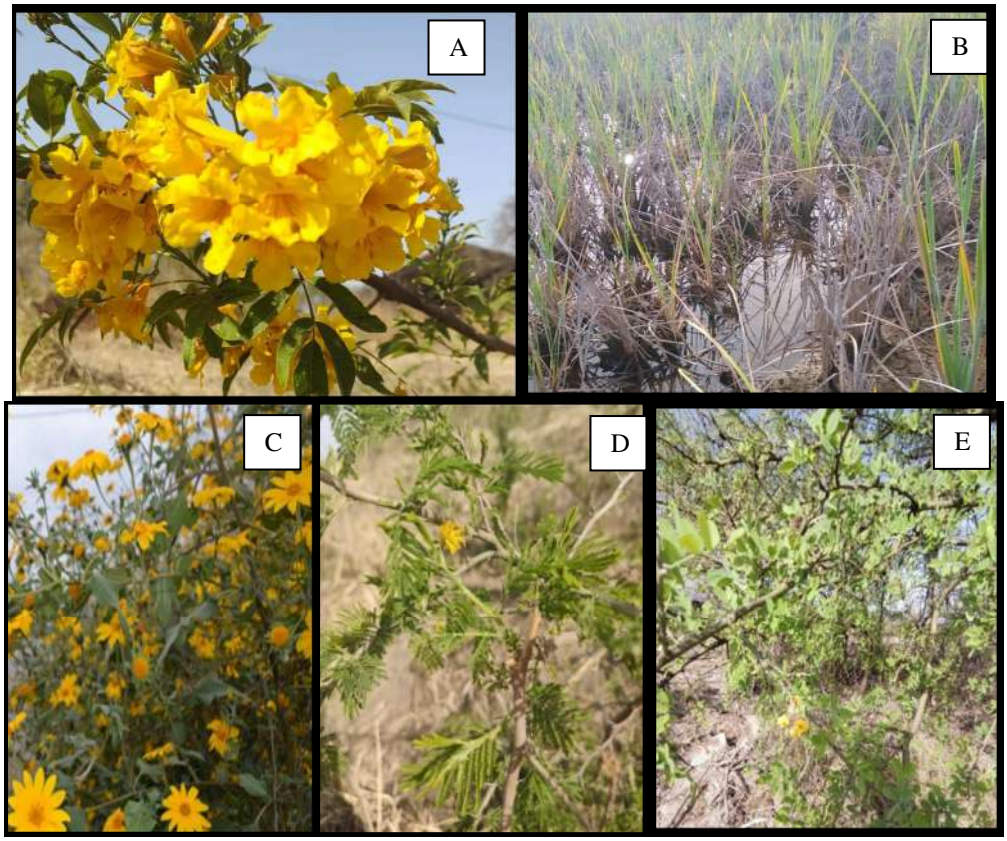


Figura 3: Especies vegetales colectadas en el Pasivo Ambiental Parque Industrial Alto La Torre. Referencias: A)Guarán amarillo; B)Totora; C)Pasto Cubano; D)Tusca;E)Chañar.

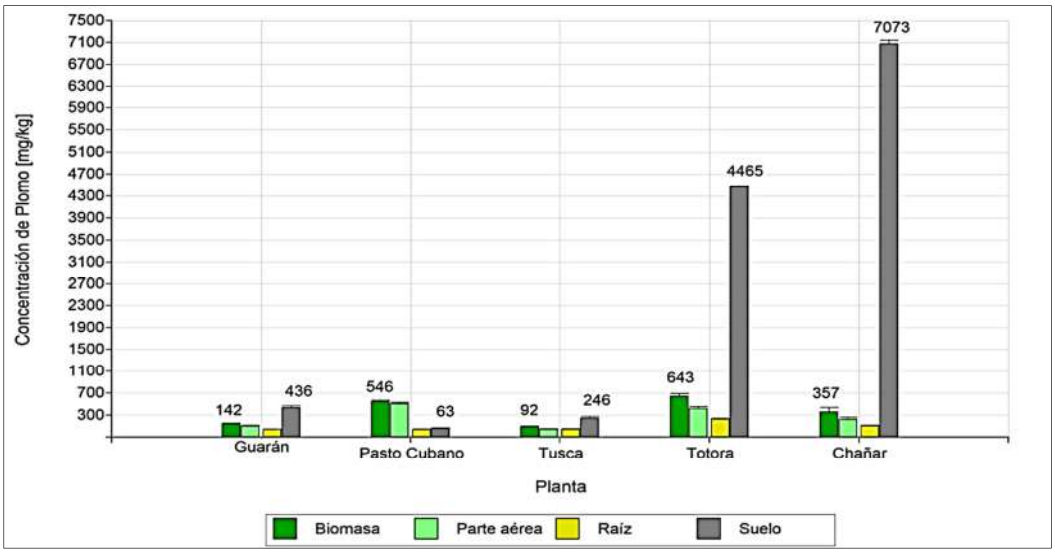


Figura 4. Valores medios de concentración de Plomo en Biomasa total, Parte aérea, Raíz y Suelo de la periferia de las raíces para las distintas especies vegetales muestreadas en el Pasivo Ambiental, Parque Industrial Alto La Torre de Palpalá, Jujuy.

El suelo de las raíces deTotora yChañar fueron colectadas en zonas próximas a cursos de agua y charcas temporales. Estas muestras de suelo presentaron las mayoresCPb, 4.464,50 ± 24,75 mg/kg para Totoray 7.073,00 ± 94,75 mg/kg para Chañar. Las muestras vegetales de Pasto cubano y Totora mostraron las mayoresCPb por kg de biomasa vegetal total, 545,65 ± 36,71 y 642,56 ± 71,04 ppm, respectivamente. En general, las plantas presentaron mayor CPb en parte aérea que en raíces. Particularmente el Pasto cubano, no mostró diferencia estadísticamente significativa entre CPb en parte aérea y raíz (test de Tukey, p-valor < 0,05).

Tabla 4.Factor de Bioconcentración (FBC) y el Factor de Translocación (FT) de las especies vegetales colectadas.

Especie vegetal	FBC	FT
Geoffroeadecorticans(Chañar)	0,05	2,06
Tecomastans (Guarán amarillo)	0,33	2,39
Tithoniatubaeformis (Pasto Cubano)	8,69	12,73
Typhadomingensis(Totora)	0,14	1,84
Vachellia aroma (Tusca)	0,37	1,00

El FT fue mayor a uno en todos los casos, indicando buena capacidad de traslocación del Pb desde la raíz a la parte aérea en todas las especies colectadas. La fitoextracción generalmente requiere la translocación de metales pesados a las partes de la planta fácilmente cosechables, es decir, parte aérea. En este caso, estas plantas crecen naturalmente en el lugar y se desconoce el tiempo en el que las plantas logran esta translocación, por lo que no podríamos asegurar que las mismas tendrán el mismo resultado en ciclos de fitoextracción en una experiencia de fitorremediación. En experiencias previas de fitoextracción a escala piloto con tierra contaminada artificialmente con $Pb(NO_3)_2$ de Saluzzo *et al*. (2015), el Pasto cubano, con una exposición al Pb de 90 días, tuvo mayor CPb en raíz que en parte aérea, por lo que su FT fue menor a uno. Podríamos decir que el FT en este caso depende del tiempo de exposición al contaminante y de la adaptación de la especie al ambiente contaminado.

Para Chañar, Guaran amarillo, Totora y Tusca, aunque presentaron FT > 1, los FBC fueron menores a uno, por lo que en general estas especies no son buenas acumuladoras y no serían adecuadas para la fitoextracción del contaminante. El Pasto cubano presentó un FBC superior a uno (8,69), por lo que podríamos decir que esta especie es acumuladora de Pb, sin embargo, reiteramos quese desconoce el tiempo necesario para lograr estos resultados.

3 CONCLUSIONES

Los resultados demuestran presencia de sales y sustancias ácidas en suelo y agua, ajenas a la composición natural de un ambiente no contaminadoque afectan el desarrollo de la vegetación y otros organismos vivos.Así también se verifica la presencia de Pb en la vegetación de la zona, y valores de Pb en agua y suelo que exceden los valores guía establecidos en la reglamentación vigente.

Según los resultados obtenidos, el pasivo ambiental del Parque Industrial Alto La Torre se encuentra contaminado con Pb afectando el medio ambiente en general. Esto implica una obligación de remediación. ElParque Industrial Alto La Torre es una zona con potencialidad para la aplicación de técnicas de remediación sustentables, económicas y socialmente aceptadas como la fitorremediación.

4 AGRADECIMIENTOS

Al Laboratorio de Análisis Geoquímicos y Ambientales ASiNOA de Alex Stewart International Argentina S.A.

Al Centro de Investigaciones y Estudios en Diversidad Vegetal (CIEDIVE) de la Facultad de Cs. Agrarias, UNJu.

5 REFERENCIAS

Alderete-Suarez B.M., Valles-Aragón M. C., Canales-Reyes S., Peralta-Pérez M. R., Orrantia-Borunda E. (2019) Bioconcentración de Pb, Cd y As en biomasa de *Eleocharismacrostachya*(CYPERACEAE). *Revista Internacional De Contaminación Ambiental,* 35: 93-101. DOI: 10.20937/RICA.2019.35.esp03.11

Bruguera-Amarán, N.; Gallardo-Martínez D.; Díaz-Duque,J.A. (2020). Los pasivos ambientales: el cambio de paradigma conceptual desde el contexto de CubaAvances,

22(3),469-490. Recuperado de http://www.ciget.pinar.cu/ojs/index.php/publicaciones/article/ view/564/1627

Cremona M.V. y Enríquez A.S. (2020). Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: El pH y la conductividad eléctrica. *INTA Digital (INTA).* oai:localhost:20.500.12123/7709

Cuentas Alvarado M., VelasquezViza O., Arizaca Avalos A., Huisa Mamani F. (2019). Evaluación de riesgos de pasivos ambientales mineros en la comunidad de Condoraque – Puno. *Revistade Medio Ambiente y Minería* 4 (2).

Decreto Reglamentario 5980/06. *"Reglamentación de la Ley General de Medio Ambiente - Estudio de Impacto Ambiental",*24/7/2006.

González, M. A., Bernardo, V., Garita, S., Arango, C., Plaza Cazón, J., Wahnan, L., &Rusciti, M. (2022). Fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados utilizando especies nativas: criterios de selección y estudio de su capacidad de bioacumulación. *Investigación Joven*, 9(2), 54–55. Recuperado a partir de https://revistas.unlp.edu.ar/InvJov/article/view/14663

Montes de Oca-Jiménez, R., Pérez-Rodríguez, J. E. y Rodríguez-Domínguez, M. C. (2022). Niveles de plomo en suelo, pasto y agua en localidades cercanas alrio Lerma, del Estado de México, dedicada a la ganadería. *Terra Latinoamericana,* 40, 1-8. https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.949R

NessnerKavamura V. y Esposito E. (2009). BiotechnologicalStrategiesAppliedtotheDecontamination of SoilsPollutedwith Heavy Metals. *BiotechnologyAdvances* 28(1):61-9. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2009.09.002

Prieto Méndez J., González Ramírez C. A., Román Gutiérrez A.D., Prieto García F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems,* 10 (1): 29-44.

Saluzzo L., Viturro, C.I., Alonso, M.S., Otaiza M.M. (2015). Fitorremediación de suelos de Jujuy contaminados con plomo empleando tres especies vegetales. *CLICAP 2015*.

Diversidad de macroinvertebrados acuáticos del Humedal Los Quiroga (Santiago del Estero)

Vásquez Vivas; Ana Belén[1];Leiva, Marta[1];Lima, Javier[2]

(1) Laboratorio de Estudios Ambientales, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero.
anabelenvasquezvivas@gmail.com, *martaleiva@unse.edu.ar*

(2) Complejo Jardín Botánico, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero.
jjlima@unse.edu.ar

RESUMEN

El propósito de este estudio fue caracterizar la comunidad de macroinvertebrados acuáticos asociados a macrófitas en el Humedal Los Quiroga. Se realizó un muestreo en 5 sitios en el mes de noviembre de 2022. Se midió temperatura, pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto. El pH mostró una tendencia alcalina, los valores de temperatura fueron altos al igual que la conductividad, y el oxígeno disuelto mostró una importante variación entre los sitios. Entre los macroinvertebrados acuáticos se registraron 21 taxones de los cuales fue el más abundante Chironomidae. Otros taxones dominantes fueron Amphipoda, Coleoptera e Hirudinea. El índice de Shannon varió entre 1,53 y 2,23. El estudio permitió realizar una primera aproximación a la diversidad de macroinvertebrados en el humedal Los Quiroga, lo que a futuro permitirá valorizar esta área como espacio importante para la conservación de la biodiversidad acuática.

ABSTRACT

The aim of this study was to characterize aquatic macroinvertebrates associated with macrophytes in Los Quiroga wetland. Sampling was carried out at 5 sites in November 2022. Temperature, pH, electrical conductivity and dissolved oxygen were measured. The pH showed an alkaline trend, temperature values were high as was conductivity, and dissolved oxygen showed significant variation between sites. Among aquatic macroinvertebrates, 21 taxa were recorded being the most abundant Chironomidae. Other dominant taxa were Amphipoda, Coleoptera and Hirudinea. The Shannon index ranged between 1.53 and 2.23. The study allowed a preliminary approach concerning macroinvertebrates diversity in Los Quiroga wetland. To the future, investigation will allow to value the areain relation to its relevance for conservancy ofaquatic biodiversity.

Palabras claves: macroinvertebrados-humedal-biodiversidad-macrófitas

Keywords: macroinvertebrates – wetlands – biodiversity – macrophytes

1. INTRODUCCIÓN

Los humedales son considerados a nivel mundial entre los ecosistemas con mayor diversidad de hábitats (Keeley&Zedler, 1998; Boeckman&Bidwell, 2007). Estos ecosistemas amortiguan los pulsos hidrológicos, influyen en los ciclos biogeoquímicos y constituyen hábitats muy importantes para la biodiversidad (Rangel-Ch 2005).

En ellos, las macrófitas juegan un papel importante en la estructuración de las comunidades,influenciando en la abundancia, diversidad y en los atributos de las comunidades de los organismos acuáticos (Fontanarrosa et al., 2013). Las macrófitas, en aguas continentales tropicales y subtropicales, son de importancia en la producción primaria equivalente al fitoplancton y otras comunidades de lagos templados (Heckman, 1988).

Los macroinvertebrados se definen como aquellos organismos invertebrados que viven asociados a diferentes sustratos dentro de los ecosistemas acuáticos y tienen un tamaño mínimo que permite distinguirlos a simple vista (Hanson et al. 2010). Los macroinvertebrados acuáticos cumplen importantes roles en el funcionamiento del ecosistema, como favorecer la descomposición de la materia orgánica teniendo así una importante participación en el ciclado de los nutrientes, y la regulación de las comunidades de plantas acuáticas por herbivoría, entre otros (Silver et al. 2012).

El conocimiento de macroinvertebrados acuáticos en humedales en Santiago del Estero es escaso. Por lo tanto, este estudio busca contribuir a la caracterización de la diversidad de macroinvertebrados acuáticos asociados a macrófitas en el humedal Los Quiroga (río Dulce, Santiago del Estero).

2. METODOLOGÍA

1.1 Área de estudio

En la localidad de Los Quiroga (Departamento La Banda, Santiago del Estero) se encuentra el azud nivelador Ing. Carlos Michaud, también denominado Dique Los Quiroga. El mismo interfiere el flujo natural del río con objetivo de derivar agua hacia el sistema de riego del Río Dulce. Al elevar el nivel de agua dentro del cauce del río, se forma un humedal de carácter permanente en un área topográficamente deprimida sobre la ribera derecha (27°38'50.19"S; 64°22'34.39"O). El principal aporte de agua a este humedal ocurre desde el río Dulce. El humedal presenta grandes parches de vegetación arraigada representada principalmente por *Juncussp yTyphasp,* acompañadas por bancos de flotantes entre las que se destaca por su abundancia *Pistiasp*(Figura 5). Es reconocido como un espacio de gran valor ecológico, particularmente por la diversidad de especies de aves que lo utilizan como hábitat y área de migración (Coria et al., 2021).

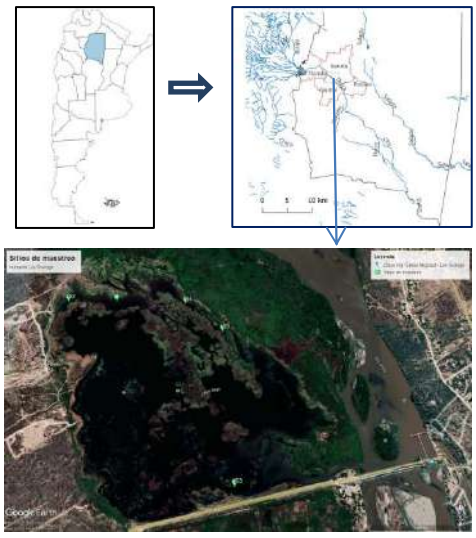


Figura 1. Localización de los sitios de muestreo

1.2 Metodologías

Se realizó un muestreo en 5 sitios (S1-S5) dentro del humedal, durante el mes de noviembre de 2022, período de aguas bajas del sistema (Leiva et al. 2020). En cada sitio se muestrearon los macroinvertebrados acuáticos asociados a macrófitas y se midieron las variables temperatura del agua (T ºC), pH y conductividad eléctrica (CE µS.cm^{-1}) con equipos digitales, y se analizó oxígeno disuelto (OD mg.L^{-1})por el método yodométrico con modificación de azida (APHA et al. 1989).

Para la recolección de los macroinvertebrados se utilizó una red de mano de fabricación artesanal (28 x 28 cm, profundidad del copo 40 cm, mango de 1,20 m y 500 µm de apertura, malla de nylon monofilamento).Se establecieron en cada sitio transectas de 5 m de longitud en posición perpendicular a la línea de borde (orilla del humedal). Tomando como referencia estas transectas se realizaron 5 barridos puntuales a lo largo de cada una, introduciendo la red en la columna de agua desde abajo hacia arriba. Esta metodología se definió ante a la dificultad para realizar un barrido continuo o en zigzag, debido a la presencia de los juncos y totoras. Las macrófitas flotantes que quedaron atrapadas en la red se enjuagaron enérgicamente para desprender los organismos de sus hojas y raíces, y luego fueron devueltas al cuerpo de agua. A partir de los 5 barridos realizados se compuso una única muestra para cada sitio. El material retenido en la redfue guardado en bolsas tipo ziploc y preservado con alcohol 80%.

En laboratorio las muestras fueron procesadas siguiendo las recomendaciones de Barbour 1999, fijando como número máximo de conteo de organismos 200 individuos. Se dispersó la muestra en una bandeja plástica blanca y se colocó sobre la misma una gradilla de 36 cuadrados (6 x 6 cm). Con un método de selección aleatoria, se sub-muestrearon 6 cuadrados para la separación y conteo de los organismos presentes. El resto del material de la bandeja se revisó con objeto de separar los organismos más grandes o que se consideraran diferentes del común recogido en los cuadrados del sub-muestreo. Esto último se realizó con objeto de registrar la mayor diversidad posible de la muestra, aunque no los organismos no fueron contabilizados para los datos de abundancia. La determinación taxonómica se realizó de manera preliminar, separando los principales órdenes y familias más reconocidas en la región, utilizando lupas estereoscópicas y siguiendo las claves taxonómicas recopiladas en Domínguez y Fernández (2009).

1.3 Análisis de datos

Se caracterizaron los sitios en base a las variables ambientales relevadas, y los ensambles de macroinvertebrados bentónicos en base a las abundancias relativas de los diferentes órdenes y grupos identificados. Se calculó la riqueza taxonómica, el índice de Shannon-Wiener, la dominancia y la equitatividad. Para el cálculo de los índices de diversidad se utilizó el software estadístico InfoStat versión 2020. (Di Rienzo et al. 2020).

2 RESULTADOS

2.1 Variables ambientales

La temperatura varió entre 27,9 ºC (S1) y 32,4 ºC (S4 y S5). El pH registró una tendencia alcalina, con el valor máximo en el S4 y el mínimo en el S2. La CE presentó valores muy variables espacialmente, aunque generalmente elevados. El mínimo fue 900 $\mu S.cm^{-1}$ (S4) mientras el máximo se registró en 2050 $\mu S.cm^{-1}$ (S2). El OD también mostró una variabilidad importante entre sitios, con un valor muy bajo en el S5 (4,05 $mg.L^{-1}$). En la tabla 1 se pueden consultar los valores de las variables ambientales relevadas en cada sitio.

Tabla 1. Variables ambientales en el Humedal Los Quiroga

Sitio	S1	S2	S3	S4	S5	Media± ds
T(°C)	27,9	30	28,69	32,4	32,4	29,7±2,08
pH	8,57	8,29	9,2	9,48	8,85	8,9±0,48
CE ($\mu S.cm^{-1}$)	1620	2050	1060	900	1036	1407,5±486,49
OD ($mg.L^{-1}$)	6,68	5,87	12,7	Sin dato	4,05	8,4±3,75
Profundidad (m)	0,55	0,40	0.5	0,46	0,50	0,48±0,05

2.2 Macroinvertebrados acuáticos

Los macroinvertebrados acuáticos estuvieron representados por 21 taxones siendo el más abundante Diptera: Chironomidae (32%), seguido por Amphipoda (20%), Coleoptera (10%) e Hirudinea (8%) (Figura 2).

Los órdenes Díptera y Amphipoda además de ser los más abundantes fueron los más comunes, presentes en todos los sitios muestreados. En la tabla 2 se detalla el listado de taxones registrados.

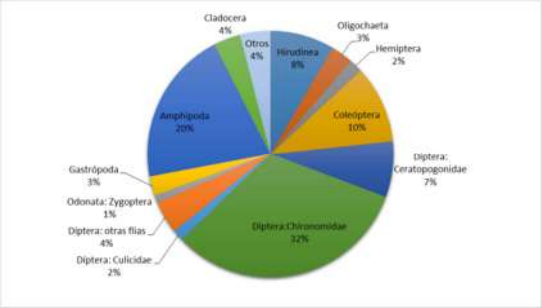


Figura 2: Principales taxones registrados en el Humedal Los Quiroga.

Los sitios S1 y S2 mostraron dominancia de Chironomidae y Amphipoda, el S3 por su parte mostró dominancia de Gastropoda, mientras S4 y S5 expresaron una mayor equitatividad entre los diferentes grupos taxonómicos registrados (figura 3).

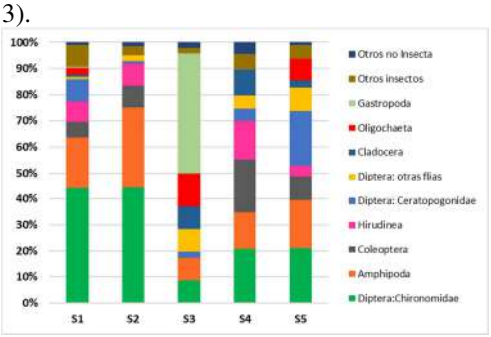


Figura 3: Proporciones acumuladas de los principales taxones por sitio.

El índice de Shannon varió desde 2,23 en el S4 a 1,53 en el S2. La dominancia fue mayor en S2 y menor en S4. Esto puede estar relacionado a una mayor abundancia de Chironomidae en el S2. La equitatividad en general fue baja, los valores variaron de 0,23 (S2) y 0,42 (S4).

Tabla 2. Listado de taxones por sitio. x: presencia; -: ausencia.

	S1	S2	S3	S4	S5
Platyhelminthes	-	-	-	x	-
Nematoda	-	-	-	-	x
Hirudinea	x	x		x	x
Oligochaeta	x	-	x	-	x
Collembola	x	x	-	x	-
Diptera:Ceratopogonidae	x	x	x	x	x
Diptera:Chironomidae	x	x	x	x	x
Diptera:Culicidae	x	-	-	x	x
Diptera: otrasflias.	x	x	x	x	x
Ephemeroptera	x	x	-	x	-
Trichoptera	x	-	-	-	-
Coleoptera	x	x	-	x	x
Hemiptera:Belostomatidae	-	x	-	-	-
Hemiptera: otrasflias.	x	x	-	x	x
Odonata:Zygoptera	x	x	x	x	-
Odonata:Anisoptera	x	x	-	x	-
Hydrachnidia	-	x	x	x	x
Amphipoda	x	x	x	x	x
Cladocera	x	-	x	x	x
Ostracoda	-	-	-	x	x
Gastropoda	x	-	x	-	-

Tabla 3. Índices de diversidad por sitio (RT: riqueza taxonómica, H': Shannon-Wiener, D: Simpson, E: equitatividad).

	S1	S2	S3	S4	S5	Media±ds
RT	18	14	9	19	13	15 ±4
H'	1,87	1,53	1,72	2,23	2,11	1,89±0,28
D	0,25	0,3	0,24	0,13	0,14	0,21±0,07
E	0,34	0,23	0,31	0,42	0,38	0,34±0,07

Figura 4. Vista del humedal Los Quiroga. Se puede observar el tipo de hábitat que prevalece, con grandes áreas cubiertas de juncos en combinación con parches de flotantes.

Figura 5. Parche de vegetación acuática.

3 DISCUSIÓN

Con los datos obtenidos se logró una primera aproximación al conocimiento de las características físico-químicas de las aguas del humedal Los Quiroga, así como respecto a la diversidad de macroinvertebrados acuáticos que alberga.

La tendencia alcalina es propia de las aguas de la región, ya que atraviesan áreas geológicas donde prevalece la meteorización de rocas calizas y la disolución de sales (Rolandi et al. 2011). Estas son características de la cuenca Salí-Dulce que se van acentuando a medida que nos adentramos en la parte inferior de la misma, ya recorriendo la llanura de la región chaqueña, donde encontramos al humedal los Quiroga. La elevada CE probablemente se relaciona con la presencia de sales disueltas a partir de los suelos en el terreno donde se forma el humedal. Es posible observar en el área circundante el afloramiento de sales, así como abundancia de halófitas como*Allenrolfeasp*.La temperatura del agua fue bastante cálida, probablemente influenciada por la elevada temperatura de la estación estival, cuando se realizó el muestreo, y la alta insolación, en conjunto con la escasa profundidad de la lámina de agua.

El grupo más abundante estuvo representado por Diptera: Chironomidae. Esta familia presenta una extensa distribución en aguas continentales (Cranston, 1995), yel rango de las condiciones donde se los encuentra es más amplio que el de cualquier otro grupo de insectos acuáticos(Fittkau, 1986). Algunas especies de esta familia pueden tolerar rangos amplios de temperatura, pH, salinidad o concentración de oxígeno (Paggi, 2003). Sus adaptaciones morfológicas, fisiológicas y de comportamiento exhiben una gran amplitud ecológica (Coffman&Ferrington, 1984). Por otra parte, estudios previos en hábitats lóticos del sistema fluvial del río Dulce han mostrado que Chironomidae es la familia dominante entre los macroinvertebrados (Leiva, 2019).Amphipoda , que también resultó un taxón dominante, es común en ambientes con elevada conductividad (Moya et al. 2009a).

En el S3 se observó, en campo, abundancia de residuos sólidos urbanos, así como signos de estancamiento del agua en este sector del humedal. Estas condiciones podrían estar dando como resultado una diversidad baja de macroinvertebrados en el sitio, además de la abundancia de taxones que toleran la alta carga orgánica como los gastrópodos (Perez y Restrepo,2008).

En el S2, donde se obtuvo la menor diversidad, coincidió con valores de menor calidad de agua que podría estar asociado a que el sitio tenga mayor influencia antrópica.

La diversidad de macroinvertebrados fue alta a pesar de la baja resolución taxonómica alcanzada en el estudio. Es de esperar, por lo tanto, que a futuro, incrementando la resolución de identificación de los grupos registrados, se obtengan valores de diversidad más elevados. La presencia de macrófitas crea micro hábitats que difieren de la intensidad de la luz, concentración de oxígeno, entre otros, albergando la mayor biodiversidad de macroinvertebrados acuáticos en los humedales (Batzer y Boix, 1999).

4 CONCLUSIONES

Con este trabajo se plantea una primera aproximación tendiente a subsanar el desconocimiento existente sobre la diversidad de macroinvertebrados acuáticos en humedales de la provincia de Santiago del Estero, particularmente en el humedal Los Quiroga.

Las aguas mostraron una tendencia muy alcalina y una elevada conductividad eléctrica.

Los grupos más abundantes en la comunidad de macroinvertebrados fueron los quironómidos y los anfípodos, aunque en áreas con menor calidad de agua del humedal fueron dominantes los gastrópodos.

La continuidad de los estudios permitirá valorizar el área del humedal Los Quiroga como espacio de conservación de biodiversidad.

5 AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó en el marco del Proyecto "Prospección ecológica del humedal Los Quiroga (cuenca Salí-Dulce, Santiago del Estero), con fines de monitoreo ambiental, conservación de biodiversidad, ecoturismo y educación ambiental" Código 23/B165 financiado por el Consejo de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la UNSE (CICyT UNSE).

6 REFERENCIAS

APHA, AWWA, WPCF (1989) *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Ediciones Díaz de Santos. Madrid, España.

Batzer, D., Box, D. (1999). *Invertebrates in Freshwater Wetlands. New York –EE.UU. John Wiley & Sons.*Recuperado de https://www.springer.com/gp/book/9783319249766

Barbour MT, Gerritsen J, Snyder BD, Stribling. JB (1999) *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish*. EPA 841-B-99-002., Second edi. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water, Washington, D.C.

Benzaquen, L., D.E. Blanco, R. Bo, P. Kandus, G. Lingua, P. Minotti y R. Quintana. (editores). 2017. *Regiones de Humedales de la Argentina. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Fundación Humedales/Wetlands International*, Universidad Nacional de San Martín y Universidad de Buenos Aires.

Benzaquen, L., Lingua, G., Firpo Lacoste, F. y Gonzalez Trilla, G. (2020) *Documento Marco para el desarrollo del Inventario Nacional de Humedales de Argentina*. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/documento_marco_inh_final.pdfBrinson, M. 1993. A hydrogeomorphic classification for wetlands. US Army Corps of Engineers, Technical Report WRP-DE-4.

Boeckman, C. J. (2007). *Spatial and seasonal variability in the water quality characteristics of an ephemeral wetland.* In Proceedings of the Oklahoma Academy of Science (pp. 45-54).

Bonada, N., Rieradevall, M., &Prat, N. (2007). *Macroinvertebrate community structure and biological traits related to flow permanence in a Mediterranean river network. Hydrobiologia*, 589(1), 91-106.

Buenaño, M., Vásquez, C., Zurita-Vásquez, H., Parra, J., & Pérez, R. (2018). *Macroinvertebradosbentónicoscomoindicadores de calidad de aguaen la cuenca del Pachanlica, provincia de Tungurahua, Ecuador.*Intropica, 41-49.

Chevenet F, Dolédec S, Chessel D (1994) *A fuzzy coding approach for the analysis of long□term ecological data.*FreshwBiol 31:295–309. https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1994.tb01742.x

Coffman, W. P. y Ferrington Jr, L. C. (1996). Chironomidae. In: K. W. Merrit& R. W. Cummins (eds.), *An introduction of aquatic insects of North America* (pp: 635-754). 3. ed. Kendall Hunt Publishing Co., Dubuque.

Cranston, P. S. (1995). Biogeography. En: Armitage, P., P. S. Cranston & L. C. Pinder (eds.). *The Chironomidae. The biology and ecology of nonbiting midges*, Chapman & Hall, London, pp. 62-84.

Collier, K., R. Wilcock y A. Meredith(1998), *Influence of substrate type and physicochemical conditions on Macroinvertebrate faunas and biotic índices of some lowland Waikato, New Zealand, streams.* doi: 10.1080/00288330.1998.9516802, New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 32(1), 1-19

Coria, O. R., Quiroga, O. B., Navarro, J. L., Heredia, J., Torres, R., & Lima, J. (2021*). Lista actualizada de las aves de Santiago del Estero, Argentina*. Acta Zoológica Lilloana, 65(1), 42–143. https://doi.org/10.30550/j.azl/2021.65.1/2021-03-16

D. Rodríguez A., E. M. Andrade R., Á. D. Pérez L., and M. Cifuentes V. (2016), *Valoración de la calidad del agua del río La Plata mediante el uso de macroinvertebrados como bioindicadores,* Rev. Nov., vol. 2, n.° 1, p. 90,

Di Rienzo JA., Casanoves F, Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada. InfoStat. Versión 2020.

Domínguez E, Fernández HR (2009) *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos*. Fundación Miguel Lillo., San Miguel de Tucumán. Argentina.

Fittkau, e. j. (1986). *Conocimiento actual sobre la colonización de la región tropical sudamericana por insectos acuáticos y su historia evolutiva, con especial referencia a los quironómidos.* Anales del Museo de Historia Natural de Valparaíso (Chile) 17: 97-103.

Fontanarrosa, MS, Chaparro, GN &O'Farrell, I. (2013). *Patrones temporales y espaciales de macroinvertebrados asociados a plantas flotantes pequeñas y medianas. Humedales* , 33 (1), 47-63. http://dx.doi.org/10.1007/s13157-012-0351-3

Grosman, F. (2008). *Espejosen la llanura:"Una invitacion a conocernuestras Lagunas Pampeanas"*. Argentina.

Hanson P, Springer M, Ramirez A (2010) Chapter 1. *Introduction to the groups of aquatic macroinvertebrates*. Rev Biol Trop J Trop BiolConserv 58:3–37. https://doi.org/10.15517/rbt.v58i4.20080

Heckman CW (1998) *Ecosystem dynamics in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil.* Verh. Internat. Verein Limnol. 26: 1343- 1347.

J. A. Gil, (2014). *Determinación de la calidad del aguamediante variables fisicoquímicas y la comunidad de macroinvertebradoscomobioindicadores de calidad del aguaen la cuenca del Río Garagoa*. Universidad de Manizales.

Keeley, J. E., &Zedler, P. H. (1998). *Characterization and global distribution of vernal pools. In Ecology, conservation, and management of vernal pool ecosystems*, proceedings from 1996 conference (Vol. 1, p. 14).

Leal-Bastidas, C., Vargas-Chacoff, L., Sandoval, N., & Fierro, P. (2021). *Variabilidad temporal y espacial de losmacroinvertebradosacuáticos y la calidad del aguaenelríoPalena, PatagoniaChilena*. Gayana (Concepción), 85(2), 132-145.

Leiva, Marta Elisabeth; MarcheseGarello, Mercedes Rosa (2019); *Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de integridad ecológica del sistema fluvial Río Dulce* (Santiago del Estero).

Leiva M, Marchese M, Lorenz G, Diodato L (2022); *Functional diversity of benthic macroinvertebrates regarding hydrological and land use disturbances in a heavily impaired lowland river*. Limnologica 92:125940. https://doi.org/10.1016/j.limno.2021.125940

Leiva, M., Ledesma, A., Wottitz, A., Diodato, L. (2018). *Evaluación físico-química de calidad de aguasdel río Dulce, Santiago del Estero.* Libro de resúmenes de las XIII Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA. p. 327.

Lopez Geta J.A., FornesAzcoiti J.M. (2009). *La geología e hidrología en la investigación de humedales.* Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie: Hidrogeología y Aguas Subterráneas N°28. P. 306.

Luciani Alegría, J. A. (2022). *Determinación de la relación entre las propiedades fisicoquímicas del agua y macroinvertebrados acuáticos*-Santa Carmen.

Moya, C., C. Valdovinos, A. Moraga, F. Romero, P. Debels& A. Oyanedel. (2009a). *Patrones de distribución espacial de ensambles de macroinvertebrados bentónicos de un sistema fluvial Andino Patagónico.* Revista Chilena de Historia Natural 82:425-442

M. S. Pastran (2017). *Evaluación de la calidad del agua mediante la utilización de macro invertebrados bentónicos, como bioindicadores: Estudio de caso en el río Suárez (Chiquinquirá – Boyacá)*, tesis de pregrado, Universidad Libre.

Paggi, A. C. y Rodrigues Capítulo, A. (2003). *Chironomid composition from drift and bottom samples in a regulated north-Patagonian river (Rio Limay, Argentina)*. InternationaleVereinigung fur Theoretische und AngewandteLimnologieVerhandlungen, 28(3), 1229- 1235.

Pérez, G. R., & Restrepo, J. J. R. (2008). Fundamentos de limnología neotropical (Vol. 15). Universidad de Antioquia.

Prat-Fornells, N., Ríos, B., Acosta, R., &Rieradevall, M. (2009). *Los Macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas*. En: Domínguez, E. y Fernández, H.R. (Eds.) Macroinvertebrados Bentónicos Sudamericanos: pp. 631-654. Tucumán.

Ramírez, A. (2010). Capítulo 2. *Métodos de recolección.* Revista de Biología Tropical, 58(SUPPL. 4), 41–50. https://doi.org/10.15517/rbt.v58i4.20081

Rangel-Ch, J.O. (Compilador). (2005). *Investigación aplicada en restauración ecológica en el humedal de Jaboque*. Convenio Acueducto de Bogotá-Universidad Nacional de Colombia, Informe final, Bogotá.

Reynaga MC, Dos Santos DA (2012). *Rasgos biológicos de macroinvertebrados de ríos subtropicales: Patrones de variación a lo largo de gradientes ambientales espacio-temporales*. Ecol Austral 22:112–120

Rolandi, m.l., m.c. galindo, h.r. fernandez and m. del v. hidalgo (2011). *Equilibrios de solubilidad en la Cuenca Media del Río Lules*. In: La cuenca del Río Lules: una aproximación multidisciplinaria a su complejidad. H. R. Fernández and H. M. Barber (eds.): 47–59. EDUNT. Tucumán, Argentina.

Silver, C. A. y Vamosi, S. M. (2012). *Macroinvertebrate community composition of temporary prairie wetlands: a preliminary test of the effect of rotational grazing*. *Wetlands*, 32(1),185-197.

Tello, C. A. C., &Huamantinco-Araujo, A. A. (2023). Efecto de las variables fisicoquímicasen la comunidad de coleópterosacuáticosen un humedalcostero, lima, perú. Acta BiológicaColombiana, 28(2).

TIC, Sistemas de Información y Sostenibilidad: Experiencias de estudiantes en proyectos tecnológicos y medio ambiente.

Villarrubia, Laura R.[1]; Villarrubia, María F.[1];Rico,Lía G.[1], Hormigo, Dante F.[1]; Pérez, SofíaD.[1]

(1) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.
lrvillarrubia@fi.unju.edu.ar; mvillarrubia@fi.unju.edu.ar; lgrico@fi.unju.edu.ar; dfhormigo@gmail.com; 25sofia03@gmail.com

RESUMEN

El avance de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) ha brindado innumerables beneficios a la sociedad, pero también ha planteado desafíos en términos de sostenibilidad y cuidado del medio ambiente. En este trabajo se expone una experiencia educativa en la que se trata de acercar el concepto de sostenibilidad a la labor de desarrollo de los sistemas de información, estableciendo los temas del cuidado del medio ambiente y la alimentación saludable como marco de los proyectos desarrollados por estudiantes de la asignatura Sistemas de Información de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jujuy. Luego se discute factores posibles a tener en cuenta para guiar el planteo de este tipo de trabajos en nuevas realizaciones, de manera didáctica, para la mejora continua y se concluye que el tener conciencia sobre la sostenibilidad puede influir en el diseño y desarrollo de soluciones tecnológicas.

ABSTRACT

The advancement of Information and Communication Technologies (ICT) has provided innumerable benefits to society, but it has also posed challenges in terms of sustainability and care for the environment. This paper presents an educational experience in which the concept of sustainability is brought closer to the work of developing information systems, establishing the issues of caring for the environment and health yeating as a framework for the projects developed by students. Of the subject Information Systems of the Faculty of Engineering of the National University of Jujuy. Then possible factors to take into account are discussed to guide the approach of this type of work in new achievements, in a didactic way, for continuous improvement and it is concluded that being aware of sustainability can influence the design and development of technological solutions.

Palabras claves: TIC – Sistemas de Información – Sostenibilidad – Medio Ambiente - Educación

Keywords: ICT – Information Systems – Sustainability – Environment

1. INTRODUCCIÓN

La rápida evolución de las TIC ha llevado a numerosos avances y mejoras en diversos ámbitos de la sociedad. Sin embargo, también se han observado efectos negativos, como el aumento del consumo energético y la implicación de la tecnología en conflictos bélicos. A medida que la conciencia sobre la sostenibilidad se ha intensificado, han surgido movimientos y organismos internacionales, como Greenpeace y la agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Esta fue

> "adoptada por los Estados miembros de las Naciones Unidas en 2015 yproporciona un plan compartido para la paz y la prosperidad de las personas y el planeta, ahora y en el futuro. En su núcleo se encuentran los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que son un llamado urgente a la acción por parte de todos los países, desarrollados y en desarrollo, en una asociación global" (Naciones Unidas, 2015)

Los ODS buscan abordar estas problemáticas y promover un futuro más sostenible. En este contexto, es fundamental que los docentes

acerquen estos temas y fomenten la reflexión entre los estudiantes. En particular, los docentes de carreras informáticas deben orientar hacia ideassobre cómo las TIC y los sistemas de información pueden constituirse en soluciones sostenibles.

2. DESARROLLO

2.1 *Panorama histórico de las TIC*

A lo largo de las últimas décadas, las TIC han experimentado una evolución extraordinaria, revolucionando la forma en que nos comunicamos, accedemos a la información, trabajamos, nos relacionamos y vivimos. Estos avances tecnológicos han dado lugar a un cambio profundo en la sociedad, generando impactos significativos en diversos ámbitos, como la economía, la educación, la cultura y el estilo de vida. Algunos antecedentes importantes en la evolución de las TIC y su impacto en la sociedad, son:

- Aparición de diversos medios de comunicación masiva, como el teléfono, la radio, el televisor y las computadoras en sus diferentes formatos computadora de escritorio, notebooks, teléfonos móviles, medios que revolucionaron las comunicaciones dado que la digitalización posibilita la convergencia de multimedios por un canal de informaciónCISCO (2020).
- Crecimiento exponencial de la conectividad: Según datos de la CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) Sobre la base de encuestas de hogares de los países. Banco de Datos de Encuestas de Hogares (BADEHOG). El número de usuarios de Internet ha experimentado un crecimiento exponencial en las últimas décadas. Ver Fig.1

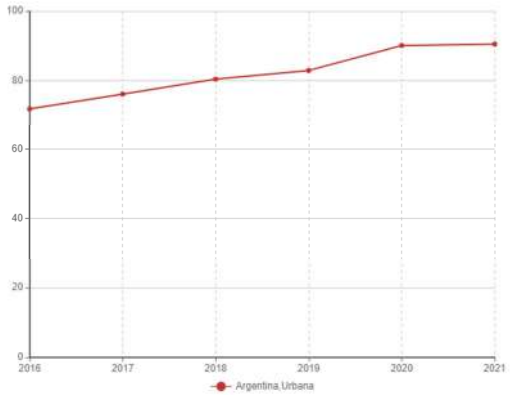


Figura 1: Acceso a internet en el hogar por área geográfica.

Desarrollo de los dispositivos móviles y expansión de la telefonía móvil: La introducción de teléfonos móviles y, más tarde, los smartphones, permitió una conectividad constante y acceso a servicios y aplicaciones en cualquier momento y lugar.

- Auge de las redes sociales: La aparición y popularización de plataformas como Facebook, Twitter, Instagram y otras redes sociales transformaron la forma en que nos relacionamos, compartimos información y nos mantenemos conectados con otras personas.
- Avances en la computación en la nube: El desarrollo de la computación en la nube proporcionó una forma eficiente de almacenar y acceder a datos y recursos en línea, permitiendo el acceso remoto y compartido de información.
- Internet de las cosas (IoT): El concepto de IoT se refiere a la interconexión de objetos cotidianos con Internet, lo que ha llevado a la creación de hogares inteligentes, ciudades inteligentes y sistemas de monitoreo y control remoto en diversos sectores.
- Big Data y análisis de datos: El crecimiento masivo de datos generados por la interacción digital y la capacidad de almacenarlos en grandes volúmenes y analizarlos han dado lugar a avances significativos en la toma de decisiones basada en datos, la personalización de servicios y el descubrimiento de patrones y tendencias.

- Inteligencia Artificial (IA): Los avances en IA han permitido el desarrollo de sistemas y algoritmos capaces de aprender, razonar y realizar tareas de manera similar a los humanos, impulsando avances en campos como el reconocimiento de voz, la visión por computadora y la automatización de procesos.

Estos son algunos hitos clave en la historia de las TIC, pero hay otros avances significativos y áreas de desarrollo en constante evolución dentro de este campo.

2.2 *Beneficios y desafíos de la revolución tecnológica*

Algunos beneficios, aspectos negativos y desafíos con los que se encuentran los avances tecnológicos son:

Beneficios:

1. Acceso a la información: Las TIC han democratizado el acceso a la información, permitiendo que las personas puedan obtener conocimiento de manera rápida y sencilla, sin importar su ubicación geográfica.
2. Comunicación global: Las TIC han revolucionado la forma en que las personas se comunican, permitiendo la comunicación instantánea y global a través de herramientas como el correo electrónico, las redes sociales y las videollamadas.
3. Mejora de la eficiencia: Los sistemas de información automatizados han mejorado la eficiencia y la productividad en diversos sectores, agilizando procesos, reduciendo errores y optimizando recursos.
4. Innovación y avance tecnológico: Las TIC han impulsado la innovación y el avance tecnológico en diferentes campos, como la medicina, la energía, la agricultura y la industria, brindando soluciones más rápidas y eficientes a los problemas actuales

Aspectos negativos relacionados con las TIC:

Se pueden mencionar los siguientes:

1. Dependencia tecnológica: El excesivo uso de las TIC puede generar dependencia, tanto a nivel personal como a nivel organizacional, lo que puede tener impactos negativos en la salud, las relaciones interpersonales y la productividad.
2. Brecha digital: Aquellos que no tienen acceso a la tecnología pueden quedar rezagados en términos de oportunidades educativas, económicas y sociales.
3. Privacidad y seguridad de los datos: El uso indebido de los datos, las violaciones de seguridad y el riesgo de robo de identidad son desafíos importantes a los que se enfrenta la sociedad en la era digital.
4. Desigualdad y exclusión social: Las TIC pueden profundizar las divisiones existentes en la sociedad, ya que no todos tienen igual acceso, habilidades o recursos para beneficiarse plenamente de ellas. Esto puede llevar a una mayor exclusión social y dificultar la participación equitativa en la sociedad digital.
5. Impacto ambiental: El creciente consumo de energía, la producción y eliminación de dispositivos electrónicos y la generación de residuos electrónicos son aspectos negativos asociados con las TIC. El impacto ambiental de la fabricación, uso y desecho de equipos tecnológicos plantea desafíos en términos de sostenibilidad y gestión de recursos.
6. Riesgos para la salud: El uso excesivo de dispositivos electrónicos y la exposición constante a las pantallas pueden tener impactos negativos en la salud física y mental, como la fatiga visual, el sedentarismo, la falta de sueño y los problemas de salud mental relacionados con el uso de redes sociales.

Desafíos:

En un resumen de desafíos relacionados con las TIC, y coincidiendo en algunos casos, con los aspectos negativos, se pueden mencionar los siguientes:

1. Brecha digital: Existe una brecha digital que limita el acceso a las TIC en algunas comunidades o regiones, lo que puede aumentar la desigualdad y dificultar la participación equitativa en la sociedad digital.
2. Dependencia tecnológica: La sociedad actual depende en gran medida de las TIC, lo cual puede generar una dependencia excesiva y vulnerabilidad en caso de interrupciones o fallas en los sistemas, puede afectar la continuidad de los procesos y la prestación de servicios.

3. Privacidad y seguridad de los datos: El aumento en la recopilación y el intercambio de datos personales ha planteado preocupaciones sobre la privacidad y la seguridad de la información. Los desafíos incluyen la protección de datos, el riesgo de brechas de seguridad y la falta de conciencia sobre los derechos y riesgos asociados con la privacidad en línea.
4. Desempleo y cambio en el mercado laboral: A medida que las TIC y la automatización avanzan, se plantean preocupaciones sobre la pérdida de empleos y la necesidad de desarrollar nuevas habilidades para adaptarse a un mercado laboral en constante evolución. Esto puede generar desafíos socioeconómicos y requerir políticas y programas de capacitación para garantizar una transición laboral exitosa.
5. Impacto ambiental: El creciente consumo de energía y recursos asociado con las TIC plantea desafíos ambientales. La producción y eliminación de dispositivos electrónicos, el uso intensivo de energía en centros de datos y el aumento de la huella de carbono son aspectos que deben abordarse para mitigar el impacto ambiental de las TIC.
6. Ética y responsabilidad: El avance de las TIC plantea cuestiones éticas y de responsabilidad, como el uso indebido de la tecnología, la manipulación de información, el sesgo algorítmico y la responsabilidad de los actores involucrados en el desarrollo y uso de los sistemas de información.

Estos desafíos requieren atención y soluciones tanto a nivel individual como a nivel de políticas y regulaciones para garantizar que el avance de las TIC y los sistemas de información beneficien a la sociedad en general.

2.3 *Sostenibilidad y TIC:*

Concepto de sostenibilidad:

El concepto de "sostenibilidad" ha cobrado una mayor vigencia en las últimas décadas, en los debates globales, especialmente a medida que la preocupación por el medio ambiente y el desarrollo sostenible ha ido en aumento.

La sostenibilidad se refiere a la capacidad de satisfacer las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades. No se limita únicamente a la protección del medio ambiente, sino que abarca aspectos sociales y económicos, reconociendo la interconexión de estos tres pilares en la toma de decisiones y acciones (Economipedia, 2023)

Implica encontrar un equilibrio, y lograr un desarrollo que sea económicamente rentable, socialmente justo y ambientalmente sostenible.

2.4 *Exploración de los esfuerzos que buscan abordar estos problemas*

Algunos movimientos que buscan abordar los problemas asociados con las TI son:

1. Movimientos de Responsabilidad Social Empresarial (RSE): Muchas empresas han adoptado iniciativas de RSE para abordar los aspectos negativos de las TIC. Estos esfuerzos incluyen la implementación de políticas de privacidad y seguridad de datos, el uso de tecnologías más eficientes en términos de consumo energético y la promoción de prácticas sostenibles en toda la cadena de suministro de las TIC.

2. Activismo y conciencia pública: Movimientos como Greenpeace y otras organizaciones ambientales y de derechos digitales han trabajado para generar conciencia sobre los impactos negativos de las TIC y presionar a las empresas y los gobiernos para que adopten prácticas más sostenibles y responsables.

3. Iniciativas gubernamentales y regulaciones: Los gobiernos han implementado regulaciones y políticas para abordar los problemas relacionados con las TIC. Estas medidas incluyen la protección de la privacidad y los datos personales, la promoción del acceso igualitario a las TIC y el fomento de la sostenibilidad en el sector tecnológico. Un ejemplo es la ley 25.326 de protección de los datos personales (Agencia de Acceso a la Información Pública (AAIP) Ministerio Público Fiscal, 2023)

4. Colaboración y alianzas: Diversas organizaciones, tanto del sector público como del privado, han establecido colaboraciones y alianzas para abordar los desafíos de las TIC. Estas asociaciones buscan compartir conocimientos, desarrollar mejores prácticas,

impulsar la innovación sostenible y promover la responsabilidad social en el ámbito de las TIC. Ejemplos destacados son:

a) Alianza para la Sostenibilidad de la Economía Digital (DESA): trabaja en iniciativas para reducir la huella de carbono de las TIC, fomentar la eficiencia energética y promover la responsabilidad social corporativa en el ámbito tecnológico.

b) Iniciativa de la Industria Tecnológica para la Sostenibilidad (TSI): Es una colaboración entre empresas tecnológicas líderes, organizaciones ambientales y gobiernos para abordar los desafíos ambientales y sociales asociados con las TIC. La iniciativa busca promover prácticas sostenibles en el diseño, producción y uso de productos y servicios tecnológicos.

c) Alianza Global para la Cooperación en TIC y Desarrollo Sostenible (GAID): Es una alianza establecida por las Naciones Unidas Busca impulsar la inclusión digital, promover la alfabetización digital y utilizar las TIC como herramientas para abordar los desafíos globales.

d) Programa Alianza para la Colaboración en TIC (ICT4D): busca utilizar las TIC en la mejora de los servicios públicos y el desarrollo social. El programa se enfoca en áreas como la salud, la educación, la gobernanza y la inclusión digital.

5. Educación y concienciación: Se ha reconocido la importancia de la educación y la concienciación sobre los aspectos negativos de las TIC. Instituciones educativas, organizaciones sin fines de lucro y empresas han desarrollado programas y recursos para promover la alfabetización digital responsable, la ética en el uso de las TIC y la conciencia sobre la sostenibilidad en el ámbito tecnológico.

6. Estándares y certificaciones: Se han establecido estándares y certificaciones que promueven prácticas sostenibles y responsables en el diseño, producción y uso de las TIC. Estos estándares abordan aspectos como la eficiencia energética, la gestión responsable de residuos electrónicos y la seguridad de los datos.

2.5 *Metodología*

En la Cátedra Sistemas de Información de las carreras Ingeniería Informática, Licenciatura en Sistemas e Ingeniería Industrial, de la Facultad de Ingeniería, se realiza un trabajo de campo, en el que equipos de estudiantes de las tres carreras, reúnen e intercambian conocimientos y esfuerzos en el desarrollo de prototipos de sistemas de información o aplicaciones.

Los pasos que se siguen son:

1) Organizar grupos de estudiantes de Ingeniería Industrial.
2) Estos grupos deben buscar ideas o innovaciones tecnológicas en el marco que los docentes establecen. El año 2022 fue el cuidado del medio ambiente y la alimentación saludable. Se aconseja:
    a. Identificar una problemática
    b. Plantear soluciones alternativas a dicho problema.
    c. Tratar de derribar la idea y/o solución, es decir, encontrar sus puntos débiles. Esto se hace con el objetivo de delinear soluciones más robustas, concretas y realizables.
    d. Elaboración y presentación de la formulación de los proyectos. Los docentes aprueban y/o corrigen los trabajos.
3) Organizar grupos de estudiantes de perfil informático, que se unen a los grupos de Ingeniería Industrial. Estos últimos deben transmitir sus ideas a los nuevos integrantes, cumpliendo así los roles de usuario que tiene necesidades de información e informáticos que trabajarán para cubrir esas necesidades.
4) En equipo se realiza la depuración de las ideas, definición del objetivo, delimitación del alcance de las soluciones informáticas.
5) Trabajo de desarrollo de los prototipos: incluye actividades y tareas para todos los integrantes, según su perfil. Aquí entran en juego no sólo conocimientos previos, sino también competencias, actitudes, capacidades, destrezas de

comunicación, resolución de problemas, etc.

6) Exposición de los prototipos.

2.6 *Resultados*

Como resultados de los trabajos desarrollados por los equipos de estudiantes, obtenidos luego de aplicar los pasos descritos en el apartado anterior, se presenta a continuación una descripción resumida de cada uno; nótese la relevancia de las soluciones halladas alineadas con los temas marco de cuidado ambiental, alimentación sana y sostenibilidad.

2.6.1 *GRUPO 1*

Este grupo se autodenominó “EMPRESA-ECO ENGINEERING” Desarrolló un prototipo de un sistema embebido para mejorar el control y la eficiencia en el proceso de tratamiento por pirólisis, implementa el control establecido por los requisitos de funcionamiento para las variables y válvulas involucradas. El tratamiento por pirólisis de plástico es un proceso mediante el cual se produce la degradacióntérmica de los residuos en ausencia de oxígeno/aire.Sirve para laeliminación/transformación de los desechos deplástico a la vez que permite la obtención deproductos tales como gasolina, queroseno, diésel yuna amplia gama de hidrocarburos.

Su objetivo fue mejorar el control de temperatura, presión y caudal en el proceso de pirólisis, que actualmente se realiza de forma manual y engorrosa. El producto diseñado busca automatizar y optimizar el trabajo manual realizado en la planta. Utilizando componentes de hardware y software, como muestra la Fig. 2, lograron controlar la temperatura, presión y las tres válvulas (gas, flujo y escape) del horno de pirólisis, la recopilación de datos de caudal, el control de las válvulas y una interfaz de visualización.

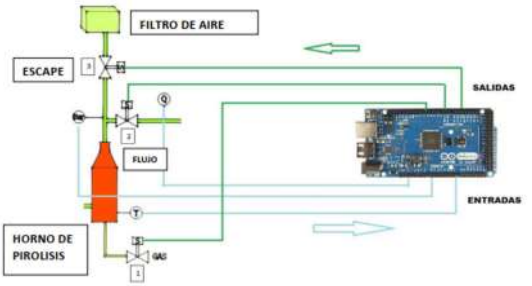


Figura 2: Planteo del sistema embebido propuesto por el grupo 1.

En resumen, el grupo 1 desarrolló un sistema para mejorar el control y la eficiencia en el proceso de tratamiento por pirólisis, implementando un sistema de control embebido y estableciendo requisitos de funcionamiento para las variables y válvulas involucradas.

2.6.1.1 *Integrantes:*

Arias Marcos Augusto (Lic. en Sistemas), Cari Jimena Florencia (Lic. en Sistemas), Estrada Brenda Ramona (Ing. Industrial), Manso Villaverde Julián Emiliano (Ing. Industrial), Torrejón Diego Facundo (Ing. Industrial), Carabajal Luis Enrique (Ing. Informática), Choque, Enrique Aniceto (Ing. Informática), López Manzano Alberto Benjamín (Ing. Informática)

2.6.2 *GRUPO 2: QUALY KEY*

El grupo 2 desarrolló un prototipo de gestión de menús orientado a grupos de personas con requerimientos alimenticios específicos. El objetivo principal es abordar la falta de opciones saludables y adecuadas en las aplicaciones de pedidos de comida existentes, especialmente en la provincia de Jujuy.

El problema identificado fue que la mayoría de las casas de comida disponibles en estas aplicaciones se enfocan en ofrecer comida "chatarra" y no cumplen con las necesidades de grupos de personas con requerimientos alimenticios específicos. Esto afecta el bienestar físico y psicológico de las personas al no encontrar lugares aptos para sus necesidades y preferencias.

La solución propuesta consistió crear una aplicación que facilite el acceso a menús más sanos y específicos para estos grupos de personas. El objetivo es mejorar la calidad de vida de los

usuarios y promover hábitos de alimentación saludables en la población en general.

Se puede destacar el impacto social: Acceso a un menú inclusivo que satisface necesidades alimentarias variadas y específicas; fomento de una alimentación saludable en el público en general; fortalecimiento de interacciones sociales/laborales donde existen distintos requerimientos dietéticos. Y el impacto económico: difusión de los negocios/emprendimientos que quieran adherirse al sistema; incremento de la cuota de mercado.

2.6.2.1 *Integrantes:*
Arroyo Natalio Emanuel (Ing. Industrial), Balceda Santiago (Ing. Informática), Cardozo Kevin Maximiliano (Lic. en Sistemas), Cruz Gloria Leonor (Ing. Industrial), Saavedra Hirmas Jorge Rodrigo (Ing. Industrial), Valdez Nicolás Rafael (Ing. Informática)

2.6.3 *GRUPO 3:*

Este grupo observó un problema, la dispersión de información sobre el cuidado del Medio Ambiente, las actividades eco-amigables y las Noticias Verdes en laProvincia de Jujuy.

Como solución proponen un sistema web destinado a visibilizar a través de un calendario las actividades eco-amigables que se desarrollan en la Provincia de Jujuy. Además, para que el usuario conozca su huella de carbono personal que emite, incluyeron una calculadora de la huella de carbono.

El objetivo del sistema es visibilizar, concentrar y publicitar las actividades relacionadas con el cuidado del medio ambiente que se realizan en la provincia. El alcance del sistema comprende: gestión de eco-actividades ingresadas por usuarios autorizados, previo control de un administrador, permite al cibernauta agendar una eco-actividad; Gestión huella de carbono: el sistema permite a los cibernautas responder una encuesta de huella ecológica que mide el impacto ambiental, genera resultados y propone soluciones para avanzar hacia una vida sustentable y saludable; Gestión de Publicación de noticias verdes: diversos usuarios autorizados podrán ingresar y publicar noticias verdes de interés para la población.

2.6.3.1 *Integrantes:*
Ana De Tezanos Pinto (Ing. Industrial), Matías Germán Planckensteiner (Lic. en Sistemas), Celeste Tolaba (Lic. en Sistemas), NéstorSharif(Ing. Industrial), Venencia Amir (Ing. Industrial)

2.6.4 *GRUPO 4*

En las ciudades y barrios adyacentes de San Salvador de Jujuy, existe una notable problemática de contaminación causada por la exposición prolongada de los residuos domiciliarios en el medio ambiente antes de su recolección. Esta situación conlleva a la contaminación del aire, tierra y agua, afectando la salud pública, provocando la transmisión de enfermedades infecciosas y generando degradación ambiental y costos sociales y económicos.

Para abordar este problema, el grupo propone la creación de un sistema de aplicación web para los barrios "Los Naranjos" y "Los Huaicos" de San Salvador de Jujuy. Esta aplicación tendrá como objetivo reducir el tiempo de exposición de los residuos en la vía pública, informar sobre los recorridos de los camiones recolectores de basura y brindar información sobre la correcta separación de los residuos.

La falta de herramientas y conocimientos por parte de los ciudadanos de San Salvador de Jujuy respecto a los horarios de recolección, recorridos de los camiones y métodos de separación de residuos, justifica la necesidad de este sistema de aplicación web. Su implementación permitirá informar a la población sobre el momento adecuado para exponer sus residuos, reduciendo la contaminación en la vía pública y protegiendo el medio ambiente.

Figura 3: Menú principal de la aplicación MasAmbiente.

Figura 4: Logo de la aplicación MasAmbiente creado por el grupo.

Figura 5: Interfaz del Sprint Gestión de Recorridos

2.6.4.1 *Integrantes:*
César Nicolás Burgos (Ing. Informática), Gustavo Javier Calle (Lic. en Sistemas), Pablo Camacho (Lic. en Sistemas), Luis Sebastián Méndez (Ing. Informática), Mallku Mauricio Segovia (Ing. Industrial), Oliver O. Rivas Herrera (Ing. Industrial)

2.6.5 *GRUPO 5.ECOVLAM*

El trabajo realizado por los estudiantes se enfoca en abordar el problema del deterioro del medio ambiente y la falta de educación en políticas ambientales. Identifican la presencia de basurales y la necesidad de tomar acción para mitigar las consecuencias negativas en el entorno y la salud de las personas. Para ello, proponen el desarrollo de la aplicación móvil ECOVLAM, que busca ser sencilla pero eficiente en su interacción y uso.

El objetivo general del prototipo de software es brindar un servicio que beneficie a la comunidad de San Salvador de Jujuy, a través de la recolección y reciclaje de residuos en los hogares y la vía pública, con el fin de reducir la contaminación ambiental.

La justificación de la aplicación se basa en la necesidad de inculcar el cuidado del medio ambiente de manera más efectiva en la población. La aplicación busca motivar y atraer a las personas mediante la gestión adecuada de los residuos, ofreciendo beneficios económicos, como descuentos en emprendimientos adheridos. Con esto, se espera que la población adopte conductas ambientales saludables y que estas se conviertan en hábitos positivos.

La aplicación se presenta como una herramienta amigable y fácil de usar, que ayuda a gestionar correctamente los residuos generados diariamente de manera más sencilla.

Figura 6: Logo de la aplicación

Figura 7: Interfaz de la aplicación Ecovlam.

2.6.5.1 *Integrantes:*

Enzo Facundo Burgos (Ing. Informática), Víctor Fernando Calisaya (Ing. Industrial), Álvaro Darío Ferreira (Ing. Industrial), Lautaro Agustín Guerrero (Ing. Industrial), Mariano Elías Joaquín (Ing. Industrial), Álvaro Maximiliano Saiquita (Ing. Informática), ÁngelSivila (Lic. en Sistemas)

2.6.6 *GRUPO 6.GREENMAP*

Los alumnos han desarrollado un trabajo enfocado en el problema de la generación y gestión de residuos urbanos en Argentina, específicamente en la ciudad de San Salvador de Jujuy. Destacan la gran cantidad de basura generada diariamente y su impacto negativo en el medio ambiente, la economía y la sociedad. Además, mencionan la responsabilidad de los municipios en la recolección y tratamiento de los residuos, según la normativa legal.

En respuesta a esta problemática, proponen el desarrollo de una aplicación móvil llamada GREENMAP. Esta aplicación permitiría a los usuarios marcar los puntos de acumulación de residuos en la ciudad, proporcionando contenido audiovisual y ubicación geográfica específica. Los datos recopilados por los usuarios se utilizarían para generar estadísticas, gráficas y rankings, brindando a la Municipalidad información valiosa para la toma de decisiones y la disminución de la contaminación provocada por los residuos.

La justificación del desarrollo de la aplicación se basa en el impacto positivo que la tecnología puede tener en la sociedad y el medio ambiente. La propuesta busca minimizar la huella ambiental y gestionar de manera óptima los residuos urbanos. Además, mencionan los resultados de una encuesta realizada a 56 personas, donde más del 67% de los encuestados se muestran como usuarios potenciales de la aplicación.

Los objetivos del proyecto son desarrollar un prototipo de aplicación colaborativa que registre y transmita información sobre los puntos sucios y las campañas de recolección, optimizar las funcionalidades relacionadas con la gestión de residuos de la Municipalidad de San Salvador de Jujuy, optimizar los recursos empleados en la recolección de residuos y disminuir la contaminación del suelo en la ciudad.

2.6.6.1 *Integrantes:*

Nicolás Eugenio Huanca (Ing. Informática), Leonardo Antonio Heredia (Ing. Informática), Axel Samuel Goyochea (Ing. Industrial), Sergio Hernán (Ing. Informática), Franco Gabriel Sosa (Ing. Industrial), Emiliano Joaquín Sosa de Martini (Ing. Industrial), Nelson Hernán Velázquez (Ing. Industrial)

3 DISCUSIONES

Si bien los trabajos de los estudiantes reflejan que tuvieron presente el concepto de la sostenibilidad de manera implícita, a partir del análisis de los resultados obtenidos, desde la Cátedra se plantea los siguientes puntos a manera de discusión:

- Realmente los prototipos desarrollados por los equipos contemplan los tres ejes fundamentales de la sostenibilidad:
  - ✓ ¿son económicamente rentables?
  - ✓ ¿son socialmente justos?
  - ✓ ¿son ambientalmente sostenibles?
- ¿Será necesario implementar una guía específica que considere los tres ejes fundamentales de la sostenibilidad? desde los momentos preliminares de la generación de las ideas hasta la formulación de los proyectos.
- Como posibles respuestas a las preguntas planteadas surge la necesidad de efectuar investigaciones más profundas de la relación entre la sostenibilidad y los sistemas de información para encontrar indicadores que,no sólo guíen el trabajo de los estudiantes, sino también permitan enmarcar en la sostenibilidad a cualquier solución tecnológica.

4 CONCLUSIONES

El análisis de los proyectos de los estudiantes demuestra que es posible aprovechar las TIC para abordar desafíos relacionados con la sostenibilidad.

En particular, destacamos la importancia de la sostenibilidad y el cuidado del medio ambiente como temas cruciales en el diseño y desarrollo de soluciones tecnológicas. Los proyectos presentados por los estudiantes, enfocados en el cuidado del medio ambiente y la alimentación saludable, son ejemplos concretos de cómo la

conciencia sobre la sostenibilidad puede influir en la creación de soluciones innovadoras.

En el contexto actual, abordar la sostenibilidad, es una urgencia, exige a los docentes problematizarlosconceptos relacionados con ella. En el área informática, la promoción de un enfoque sostenible en el desarrollo de sistemas de información, es un desafío. Es a través de la educación y el fomento de la conciencia sobre la sostenibilidad que los jóvenes pueden generar ideas y contribuir a un futuro más sostenible mediante el uso responsable de las TIC.

En resumen, a medida que avanzamos en la era digital, es fundamental considerar el equilibrio entre el progreso tecnológico y la sostenibilidad ambiental. Los desafíos y oportunidades que se presentan en este ámbito requieren de un enfoque colaborativo y una mentalidad consciente. Al trabajar juntos, podremos aprovechar el potencial de las TIC para construir un futuro más sostenible y saludable para todos.

5 AGRADECIMIENTOS

A los estudiantes de la materia Sistemas de Información de las carreras Ingeniería Informática, Licenciatura en Sistemas e Ingeniería Industrial, por su participación comprometida en el desarrollo de la propuesta*"trabajo de campo"*.

6 REFERENCIAS

Agencia de Acceso a la Información Pública (AAIP) Ministerio Público Fiscal (2023) *Protección de datos personales*. Recuperado 20/06/2023 de https://www.argentina.gob.ar/aaip/datospersonales

CEPALSTAT. *Bases de datos y publicaciones estadísticas*. CEPAL. Recuperado 20/06/2023 de https://statistics.cepal.org/portal/cepalstat/dashboard.html?lang=es

CISCO (2020). Aspectos básicos del networking. CCNA Exploration 4.0. La vida en un mundo centrado en la red. Capítulo 1.

Deguchi, Atsushi, Kamimura, Osamu (2020). WhatIsSociety 5.0? H-UTokyoLab (eds) Society 5.0. Recuperado de https://doi.org/10.1007/978-981-15-2989-4_1

Departamento de asuntos económicos y sociales de las Naciones Unidas. *Los 17 goles*. UnitedNations. Recuperado 20/06/2023 de https://sdgs.un.org/goals

Economipedia. (2023) *Sostenibilidad* Qué *es, definición y concepto.* Recuperado dehttps://economipedia.com/definiciones/sostenibilidad.html.

Gómez, A Suárez, C. (2006). Sistemas de Información. Herramientas prácticas para la Gestión Empresarial. 2da. Edición. Editorial RA-MA

Grande, M., Cañón, R., & Cantón, I. (2016). *Tecnologías de la información y la comunicación: Evolución del concepto y características*. IJERI: International JournalofEducationalResearch and Innovation, (6), 218–230. Recuperado de https://www.upo.es/revistas/index.php/IJERI/article/view/1703

Jan Heredia (2019). *Ciencia y tecnología para un desarrollo perdurable*. Recuperado de https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-34032019000100092.

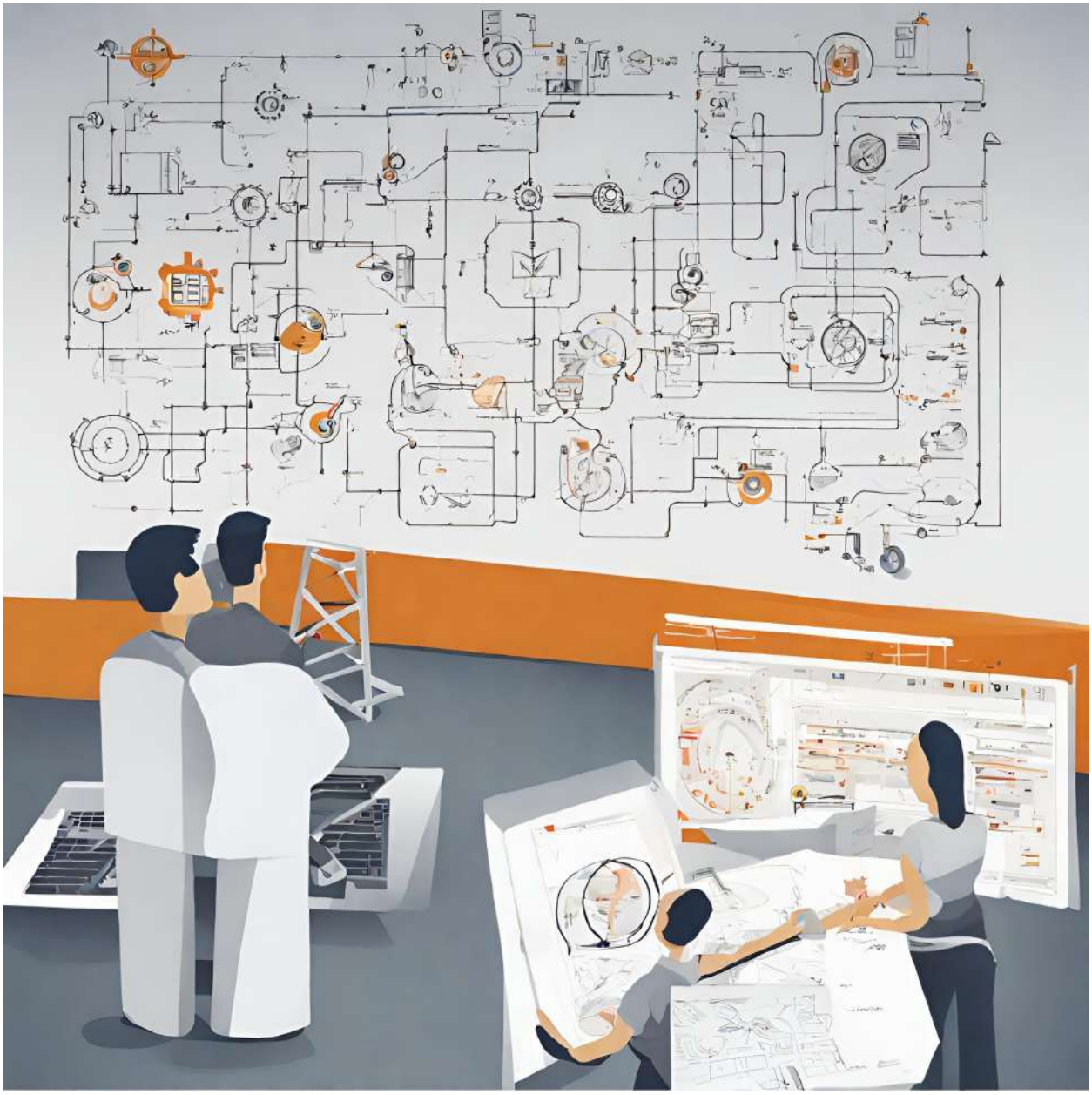
Munch, Lourdes (2010). Administración- Gestión Organizacional, Enfoques Y Proceso Administrativo. Editorial Prentice HallHerrera Cáceres, C. y Rosillo Peña, M. (2019). Confort y eficiencia energética en el diseño de edificaciones. Universidad del Valle.

Pacheco, Alberto, Candolfi, Norma, Morales Gamboa, Rafael, Ramírez Moreno, Sergio (2021) *Competencias estratégicas para la Industria 4.0 y la Sociedad 5.0*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/350824381_Competencias_estrategicas_para_la_Industria_40_y_la_Sociedad_50

Peretti, María Florencia(2017) *TI y SI en tiempos de sustentabilidad: cómo integrar los recursos tecnológicos y los sistemas de información a la necesidad de organizaciones sustentables*. Recuperado de http://hdl.handle.net/11086/19014

PiattiniVelthuis, M.; et-al (2007). Análisis y Diseño detallado de Aplicaciones Informáticas de Gestión. Editorial RA-MA.

CIENCIAS BÁSICAS DE INGENIERÍA



Investigación experimental y teórica de la estructura molecular y delas propiedades espectroscópicas del alcaloide magnoflorina

Alvarez Escalada, Fanny C.[1]; Romano, Elida[2];Ledesma, Ana E.[1,3]

(1) Departamento Académico de Química, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero (FCEyT- UNSE).
fannyalvarezescalada@gmail.com
(2) Cátedra de Química General, Instituto de Química Inorgánica, Facultad de Bioquímica. Química y Farmacia, Universidad Nacional de Tucumán (FBQyF-UNT).
elida.romano@fbqf.unt.edu.ar
(3) Centro de Investigación en Biofísica Aplicada y Alimentos (CIBAAL-CONICET).
ana1ledesma@yahoo.com.ar

RESUMEN

En este trabajose combinaron medidas espectroscópicas experimentales (FTIR y UV-Visible) con cálculos teóricos basados en la teoría del funcional de la densidad (DFT) para predecir las propiedades estructurales y conformacionales del alcaloide magnoflorina en fase sólida y en solución acuosa. El espectro electrónico de magnoflorina se investigó en solución acuosa a partir de la estructura del estado fundamental totalmente optimizada. Se realizaron cálculos DFT dependientes del tiempo (TD-DFT) para determinar los valores de longitud de onda correspondiente a los máximos de absorción, la fuerza del oscilador (f), las contribuciones de los orbitales moleculares involucrados en las transiciones electrónicas y el % de desviación relativa entre los valores experimentales y teóricos calculados utilizando los funcionales B3LYP y PBE0. De la misma manera, se combinaron los cálculos DFT con la metodología del campo de fuerza de mecánica cuántica escalado (SQMFF) de Pulay para ajustar los valores de frecuencia teóricos a los experimentales para una asignación completa de los modos normales de vibración del espectro infrarrojo. Los resultados experimentales y teóricos obtenidos muestran una concordancia razonable, permitiendo una descripción completa de la estructura molecular de magnoflorina. Esta caracterización estructural mejorará la comprensión del comportamiento biológico del alcaloide y de sus propiedades farmacológicas.

ABSTRACT

In this work, we combined experimental spectroscopic measurements (FTIR and UV-visible) with theoretical calculations based on density functional theory (DFT) to predict the structural and conformational properties of magnoflorine alkaloid in solid phase and aqueous solution. The electronic spectrum of magnoflorine was investigated in aqueous solution from a fully optimized ground-state structure. TD-DFT calculations were performed to determine wavelength values corresponding to absorption maxima, oscillator strength (f), molecular orbitals contributions involved in electronic transitions, and the percentage relative deviation between experimental and theoretical values calculated using B3LYP and PBE0 functionals. In addition, DFT calculations were combined with Pulay's scaled quantum mechanical force field (SQMFF) methodology to fit theoretical to experimental frequency values for a complete assignment of vibrational normal modes and the infrared spectrum. Reasonable concordances among the predicted IR and UV-visible spectra with the corresponding experimental ones were found, which allows a complete description of the molecular structure of magnoflorine. This structural characterization will improve our knowledge of the biological behavior of the alkaloid and its pharmacological properties.

Palabras claves: Magnoflorina-estructura molecular-propiedades espectroscópicas-cálculos DFT

Keywords: Magnoflorine-molecular structure-spectroscopic properties-DFT calculations

1. INTRODUCCIÓN

Los alcaloides son compuestos orgánicos naturales que contienen al menos un átomo de nitrógeno en su estructura y constituyen los metabolitos de origen natural más activos puesto que han sido ampliamente utilizados como toxinas o drogas a lo largo de la historia. Los alcaloides que fueron aislados de numerosas plantas derivan de diferentes aminoácidos en sus vías de síntesis bioquímica, y entre ellos los alcaloides de isoquinolina constituyen el grupo más grande y diferenciado ampliamente estudiado (Kukula Koch, 2016). La magnoflorina (MGF) desde el punto de vista químico pertenece a la familia de los alcaloides de isoquinolina, y más precisamente, a sus derivados aporfínicos. MGF en sí mismo es el alcaloide de aporfina cuaternaria natural más ampliamente distribuido y se encuentra en numerosos géneros de familias de plantas con flores (Lu, 2014). La estructura 2D de magnoflorina se muestra en la Fig. 1 y como puede observarse en la imagen es un alcaloide caracterizado por la presencia de dos grupos −OH y dos sustituyentes $-OCH_3$ unidos a una estructura de aporfina.

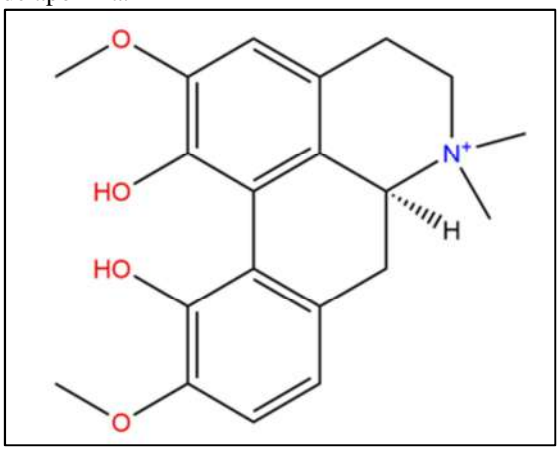


Figura 1: Estructura química 2D del alcaloide magnoflorina (PubChem CID: 73337).

Básicamente, cada anillo aromático de MGF presenta un grupo oxhidrilo en posición adyacente a un metoxilo, siendo estos dos grupos funcionales la principal diferencia con la aporfina. Así mismo el nitrógeno de magnoflorina, a diferencia del de la aporfina, está unido a un segundo grupo metilo es decir que MGF se presenta en forma de un ion amonio cuaternario con alta polaridad y buena solubilidad en agua, metanol y etanol e insoluble en disolventes orgánicos de baja polaridad (Karimov, 1993 y Kukula Koch, 2017). Magnoflorina presenta en su estructura un único carbono quiral y la configuración del enantiómero fue reportado por Iwasa*et al* (2018) como (S)-magnoflorina.

Los alcaloides son compuestos de origen natural que desempeñan funciones tradicionalmente importantes en el diseño de diversas clases de fármacos terapéuticos. En el caso específico de la magnoflorina los efectos farmacológicos de este alcaloide han sido ampliamente reportados en las últimas décadas, Xu*et al* (2020) realizaron una revisión completa, y una discusión, de las actividades farmacológicas y características farmacocinéticas del alcaloide objeto de estudio de este trabajo. Sin embargo, la actividad biológica de los alcaloides está estrechamente relacionada con su estereoquímica, estructura electrónica y geometría por lo que en este trabajo se llevó a cabo una investigación teórica y experimental de las propiedades estructurales y espectroscópicas del alcaloide utilizando cálculos DFT combinados con FTIR y espectroscopia UV-visible a fin aportar a una mejor comprensión de todas las propiedades previamente reportadas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Cálculos computacionales

La optimización de la geometría molecular y la estructura electrónica del alcaloide se realizó con el paquete de programas GAUSSIAN 16W (Frisch, 2016) mediante cálculos DFTutilizando el funcional B3LYP (Becke, 1993) combinada con el conjunto de bases estándar 6-31++G (d, p) tanto en fase aislada como en solución acuosa usando el modelo del continúo polarizable(Marenich, 2009). Se estudió la superficie de energía potencial (PES) mediante un scan relajado secuencial, donde se fijan los valores delángulo diedro de los grupos metilo y dejando liberando el resto de los parámetros.Luego de cada scans se trabajó con la estructura del mínimo alcanzado. La curva de energía potencial final donde se varió el ángulo H35-C12-N5-C6, muestra una estructura con un mínimo global, dónde el ángulo diedro tiene un valor de +60°. Todos los cálculos posteriores se realizaron para este confórmero. En el análisis

vibracional, los espectros IR experimentales se compararon con las frecuencias calculadas usando el método B3LYP/6-311++G**, mientras que los campos de fuerza armónicos se calcularon teniendo en cuenta las coordenadas internas normales utilizando el enfoque SQMFF (Rauhut, 1995) y el programa Molvib (Sundius, 2002). Las propiedades electrónicas tales como los máximos de absorción,las transiciones electrónicas involucradas,la fuerza del oscilador y el gap de energía HOMO-LUMO, se predijeron mediante el enfoque DFT dependiente del tiempo empleando los métodos B3LYP y PBE0(Adamo, 1999 y Ernzerhof, 1999) en el mismo nivel de teoría 6-311G**. Finalmente, los espectros obtenidos para ambos funcionales empleados se compararon con los datos experimentales.

2.2 Medidas experimentales

Se utilizó Magnoflorina > 98 % (HPLC) adquirida comercialmente en Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, EE. UU.) sin purificación adicional. Se registraron los espectros electrónicos en solución acuosa en un espectrofotómetro UV-1800 Shimadzu (ShimadzuCorporation, Japón) conectado a una PC provista con el Software UVProbe. Las mediciones se hicieron en celdas de cuarzo de 1 cm de paso óptico (Hellma, St. Louis, MO, EE. UU.) desde 220 a 800 nm usando una solución 2,75 µM de magnoflorina. Los espectros ATR-FTIR de MGF tanto en estado sólido como en solución acuosa se registraron bajo una corriente de circulación de aire seco en un equipo ThermoScientific Espectrómetro 6700 (Waltham, MA, EE. UU.) equipado con un detector DTGS de KBr y un accesorio ATR Smart de reflexión múltiple con cristal ZnSe (45°). El intervalo de la región espectral y la resolución espectral fueron de 400–4000 cm^{-1} y 4 cm^{-1}, respectivamente con 64 escaneos.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Optimización de la geometría y superficie de energía potencial

La estructura inicial de magnoflorina se construyó con el programa GaussView(Nielsen, 2009) y fue optimizada en fase aislada utilizando el nivel de teoría híbrido B3LYP/6-311++G** con el programa Gaussian16w. A partir de la estructura optimizada se realizóun escaneo relajado de la superficie de energía potencial (SEP), para lo cual se llevaron a cabo variaciones en el ángulo diedro C6-N5-C12-H35. Para ello se usó como punto de partida el valor del ángulo correspondiente a la estructura previamente optimizada (-60°) y se modificó el valor del mismo cada 10° hasta los 180° utilizando el mismo nivel de teoría.

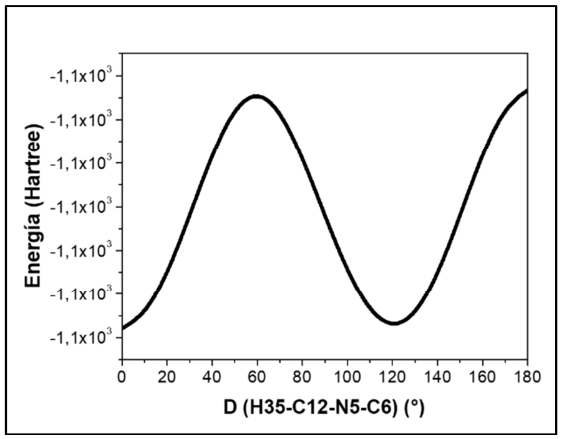


Figura 2: Curva de energía potencial de magnoflorina en función del ángulo diedro H35-C12-N5-C6.

De acuerdo a la curva de energía potencial obtenida (Figura 2), la estructura teórica más estable para magnoflorina en fase aislada es la que corresponde al mínimo de energía de la curva en la cual el ángulo diedro tiene un valor de +60°, es decir el valor de 120° en la curva.

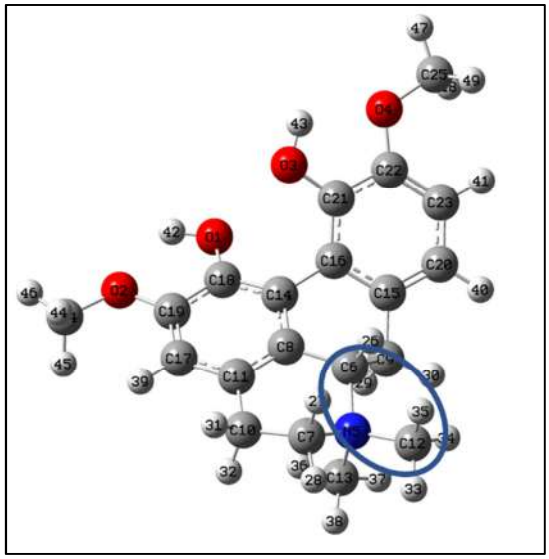


Figura 3: Estructura optimizada del confórmero más estable de magnoflorina en fase aislada. Dentro delcírculo azul se indica el ángulo diedro C6-N6-C12-H35.

La estructura del confórmero más estable correspondiente al mínimo de energía se muestra en la Fig. 3.Tal cual se puede observar en la Fig. 3 los grupos oxhidrilos del C18 y del C21 se distribuyen espacialmente de manera tal que los hidrógenos de cada -OH se orientan hacia el oxígeno correspondiente al grupo metoxilo del carbono adyacente, C19 y C22 respectivamente

3.2 Análisis del espectro ultravioleta

El espectro UV-visible experimental de magnoflorina, registrado en solución acuosa, muestra tres bandas de absorción. Una banda muy intensa a 227 nm y dos de menor intensidad centradas en 273 y 320 nm de longitud de onda. En la Fig.4-A se muestra el espectro experimental y elcalculado en el mismo medio con cálculos TD-DFT incorporados en el programa Gaussian16 usando el método B3LYP/6-311G**. El espectro teórico obtenido presenta una banda de absorción muy intensa centrada en 315 con un hombro en 296 nm.

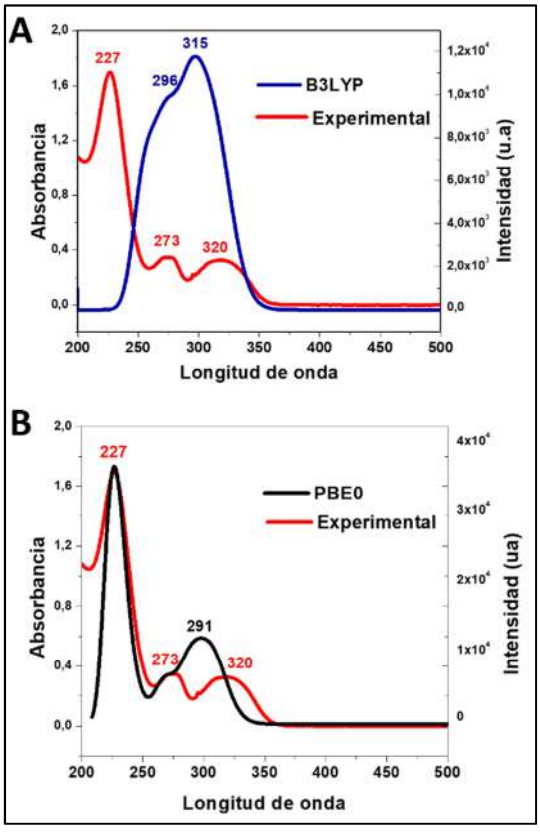


Figura 4: Espectro UV-visible de magnoflorina experimental (medido en agua) y los espectros teóricos calculados con los funcionales B3LYP (A) y PBE0 (B).

Dado que este funcional predijo un espectro diferente al medido experimentalmente es que se repitió el cálculo utilizando el funcional PBE0 y el set de base 6-311G**. Reportes recientes para este tipo de moléculas evidenciaron resultados más próximos a los experimentales usando este nivel de teoría (Alvarez Escalada, 2019). Este nuevo espectro teórico se muestra junto al experimental en la Fig. 4-B. El funcional PBE0 predice una banda muy intensa en 219 nm, una de intensidad media a 291 con un hombro en 283 nm bastante similar a lo que se observó en el espectro experimental.Los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 1, en la misma se compara la longitud de onda máxima de absorción, lasfuerzas del oscilador (f), los orbitales moleculares involucrados en las transiciones electrónicas con su porcentaje de su contribución y el porcentaje de desviación relativa entre los valores teóricos y los experimentales calculados utilizando los funcionales B3LYP y PBE0.

Tabla 1- Valores de $\lambda_{máx}$ (nm), fuerza del oscilador (f), contribuciones de los orbitales moleculares relacionadas con las transiciones electrónicas (CTE %), y % de desviación relativa (% DR) entre los valores experimentales y teóricos de $\lambda_{máx}$. para los dos funcionales B3LYP y PBE0.

$\lambda_{exp}^{máx}$ (nm)	$\lambda_{máx}$ (nm)	f	CTE (%)	% DR
PBE0/6-311G**				
227	219	0,21	HOMO→L+2 (53%)	3,52
273	283	0,12	H-1→LUMO (84%)	3,66
320	291	0,12	HOMO→LUMO (95%)	5,94
B3LYP/6-311G**				
227	-	-	-	-
273	296	0,11	HOMO→LUMO (95%)	8,42
320	315	0,09	H-1→LUMO (78%)	1,56

El porcentaje de desviación relativa entre los valores experimentales y teóricos de los máximos de absorción informados en la tabla 1 se calculan con la ecuación 1

$$\%DR = \left|\frac{Teórico}{Experimental} * 100 - 100\right| (1)$$

De acuerdo con los resultados de la Tabla 1 el funcional B3LYP predijo un % de desviación relativa más alta para λmáx experimental a 273 nm y no predijo la banda más intensa de 227, mientras que el funcional PBE0 presentó los % de DR más bajo para las mismas bandas experimentales. Sin embargo, el funcional B3LYP presentó el porcentaje de desviación relativa más bajo para la banda experimental de 320 nm. Resultados similares respecto a la diferencia observada en la predicción de los espectros UV-Visible utilizando los funcionales B3LYP y PBE0 fueron reportados previamente por nuestro grupo de investigación para otros derivados bencénicos (Alvarez Escalada, 2019), donde el espectro calculado utilizando el funcional PBE0 se ajusta mejor al registrado experimentalmente que el calculado con B3LYP.
Las tres bandas que se muestran en el espectro experimental de magnoflorina se pueden atribuir a las transiciones electrónicas predichas por los cálculos de NBO. La primera banda, ubicada a 227 nm (f = 0,2091), se predijo con mayores contribuciones de las transiciones HOMO→L+2 (53%) y HOMO→L+3 (30%), mientras que la segunda banda a 283 nm (f = 0,1228) presenta las principales contribuciones de las transiciones H1→LUMO (84%). La banda de menor energía, centrada en 301 nm (f=0,1240) se debe principalmente a la transición HOMO→LUMO (95%).

3.3 Análisis vibracional

La magnoflorina es un alcaloide compuesto por 49 átomos para el cual se esperan 141 modos normales de vibración. El FTIR experimental medido en fase sólida se compara con el espectro infrarrojo teórico predichopor cálculos DFT/B3LYP/6-311++G** en la Fig.5.Se observó una concordancia razonabley aceptable entre el espectro calculado y el experimental, fundamentalmente en la región de la huella dactilar. Puesto que a mayores números de onda la resolución de las bandas que se esperan en esta región es muy baja.
En general se observan dos regiones bien diferenciadas en los espectros infrarrojos que se muestran en la Fig. 5, una entre los 4000-2500 cm^{-1} y la otra entre 2000-700 cm^{-1}. Las asignaciones de bandas más importantes para la molécula de magnoflorina se discuten a continuación por regiones.

3.3.1 Región de 4000 a 2000 cm^{-1}

En esta región se esperan las bandas correspondientes a los estiramientos (υ) de los grupos O-H, C-H, CH_3 and CH_2. De acuerdo a la Fig. 5, en el espectro teórico se observan para esta región tres bandas: una muy intensa a 3517 cm^{-1}, una de intensidad media centrada en 2889 cm^{-1} y una de baja intensidad a 2963 cm^{-1}. De acuerdo a lo predicho por los cálculos SQMFF las mismas corresponden a los estiramientos simétricos y antisimétricos de los grupos OH, CH_3 y CH_2 respectivamente. En el espectro experimental se observa una única banda envolvente de baja intensidad centrada en 3417 cm^{-1} que impide la resolución de cada una de las bandas teóricas esperadas para esta región espectral. Probablemente esto se deba a la presencia de agua.

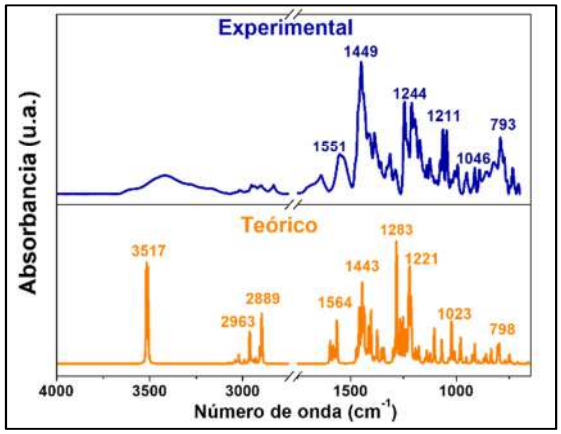


Figura 5- Espectros infrarrojos teórico y experimental de magnoflorina en fase sólida.

3.3.2 Región de 2000 a 700 cm^{-1}

En este intervalo de números de onda se observan las bandas más intensas en el espectro experimental como se muestra en la fig. 5.
Los modos de estiramiento C=C correspondientes a los anillos aromáticos fueron asignados a la

banda ancha de intensidad media centrada en 1551 cm^{-1} que se observa en el espectro experimental. Estas fueron predichas a 1564 cm^{-1} en el espectro teórico. Mientras que los modos de estiramiento C-C se encuentran están asignados en 1024 y 1009 cm^{-1} como en otras especies relacionadas (Alvarez Escalada, 2021). La banda experimental más intensa que se registró en el espectro FTIR de magnoflorina se encuentra centrada en 1449 cm^{-1}y presenta un hombro a mayor número de onda del máximo de absorción (1463 cm^{-1}) y dos hombros a menor número de onda (1431 y 1438 cm^{-1}). Esta banda fue asignada a los modos de deformación de los CH_3, que fue predicha por los cálculos computacionales a 1443 cm^{-1}como puede observarse en el espectro calculado.

Las bandas de intensidad media y baja observadas entre 1400 y 1250 cm^{-1} se asignaron a los modos de deformación, de wagging y de rocking de CH_2.

La banda intensa que se observa a 1244 cm^{-1} en el espectro experimental fue asignada a la deformación del ángulo de los grupos oxhidrilos, en el espectro calculado se pudo determinar dos bandas para estos modos de vibración uno a 1266 para el H42-O1-C18 y otra a 1252 cm^{-1} para H43-O3-C21.

El grupo de bandas entre 1100 y 1000 cm^{-1} se pueden asignar a modos de estiramiento C-O de los grupos metoxilo(1075 y 1063 cm^{-1}) ya que los cálculos B3LYP/6-311G** predicen claramente estos modos para esta región espectral. Finalmente, las bandas que se observan a números de onda menores a 1000 cm^{-1} corresponden a los modos de vibración de y torsión de los anillos.

4 CONCLUSIONES

Se estudiaron las propiedades estructurales y espectroscópicas del alcaloide magnoflorina utilizando espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) en estado sólido, así como espectroscopía ultravioleta-visible en solución acuosa.El funcional híbrido B3LYP con el conjunto de bases 6-311++G** se utilizó para optimizar las estructuras de MGF en fase gaseosa y en solución acuosa, en solución se estudió lainfluencia del solvente al mismo nivel de teoría con el método del polarizado continúo (PCM). El espectro UV-Visible de MGF fue calculado utilizando dos funcionales diferentes, B3LYP y PBE. Solo este último permitió reproducir de manera satisfactoria el espectro experimental, puesto que predijo los tres máximos de absorción, a 227, 273 y 320 nm de longitud de onda, que se observan experimentalmente.

La molécula de magnoflorina presenta simetría C_S y 141 modos normales de vibración, en este trabajo las principales bandas observadas en el espectro infrarrojofueron asignadas combinando los cálculos teóricos con losespectros experimentales registrados en solución y fase sólida.

En líneas generales, se encontraron concordancias razonables entre los espectros IR y UV-visible calculados con sus respectivos espectros experimentales.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen al Prof. Tom Sundius por su permiso para usar el programa MOLVIB y al Laboratorio de Biointerfases y Sistemas Biomiméticos del CIBAAL-UNSE-CONICET por permitir el uso del equipo ATR-FTIR para medir los espectros infrarrojos.

Este trabajo fue completamente financiado por la Universidad Nacional de Santiago del Estero (proyecto 23/C180-A-2022).

F.C.A.E agradece al Consejo Interuniversitario Nacional (CIN) por la beca doctoral.

A.E.L. es miembro permanente de la carrera de investigador científico del CONICET.

5 REFERENCIAS

Adamo, C.; Barone, V. (1999). Toward reliable density functional methods without adjustable parameters: The PBE0 model. The Journal of chemical physics, 110(13), 6158-6170. https://doi.org/10.1063/1.478522

Alvarez Escalada, F.C.; Ledesma, A.E. (2019). Impact of temperature changes and pH on aqueous solutions of TCAB,derived propanil contaminant. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy.* https://doi.org/10.1016/j.saa.2019.117146

Alvarez Escalada, F.C.; Romano, E.; Brandán, S.A.; Ledesma, A.E. (2021). Experimental and computational analysis of N-methylcytisine alkaloid in solution and prediction of biological activity by docking calculations. *Molecular Physics.* https://doi.org/10.1080/00268976.2021.1987544

Becke, A.D. (1993). Density-functional thermochemistry. III. The role of exact Exchange. Journal of Chemical Physics. 98 (7) 5648–5652.
https://doi.org/10.1063/1.464913

Ernzerhof, M.;Scuseria, G. E. (1999). Assessment of the Perdew–Burke–Ernzerhof exchange-correlation functional. The Journal of chemical physics, 110(11), 5029-5036.
https://doi.org/10.1063/1.478401

Frisch, M.J.; Trucks, G.W.; Schlegel, H.B.; Scuseria, G.E.; Robb, M.A.; Cheeseman, J.R.; Scalmani, G.; Barone, V.; Petersson, G.A.; Nakatsuji, H.; et al. (2016) *Gaussian 16*; Revision C.01; Gaussian Inc.: Wallingford, CT, USA.

Iwasa, K., Takahashi, T., Nishiyama, Y., Moriyasu, M., Sugiura, M., Takeuchi, A., Takeda, K. (2008). Online structural elucidation of alkaloids icsand other constituents in crude extracts and cultured cells of Nandina domestica by combination of LC-MS/MS, LC-NMR, and LC-CD analyses. *Journal of Natural products*, *71*(8), 1376-1385.
https://doi.org/10.1021/np8001496

Karimov, A. Berberis alkaloids. *Chemical Natural Compounds* 29, 415–438 (1993).
https://doi.org/10.1007/BF00630564

Kukula-Koch, W.; Widelski, J. (2016). Alkaloids. *Pharmacognosy: Fundamentals, Applications and Strategy*. Academic Press: London, UK. ISBN 9780128021040.

Kukula-Koch, W., Kruk-Słomka, M., Stępnik, K., Szalak, R., Biała, G. (2017). The evaluation of pro-cognitive and antiamnestic properties of berberine and magnoflorine isolated from barberry species by centrifugal partition cromatography (CPC), in relation to QSAR modelling. *International Journal of Molecular Sciences*, *18*(12), 2511.
https://doi.org/10.3390/ijms18122511

Li, C., Wang, M. H. (2014). Potential biological activities of magnoflorine: a compound from Aristolochia debilis Sieb. et Zucc. *Korean Journal of Plant Resources 27(3):223-228.*
http://dx.doi.org/10.7732/kjpr.2014.27.3.223

Marenich, A. V., Cramer, C. J., Truhlar, D. G. (2009). Universal solvation model based on solute electron density and on a continuum model of the solvent defined by the bulk dielectric constant and atomic surface tensions. *The Journal of Physical Chemistry B*, *113*(18), 6378-6396.
https://doi.org/10.1021/jp810292n

Nielsen, A. B., Holder, A. 2. (2009). Gauss view 5.0, user's reference. *GAUSSIAN Inc., Pittsburgh*.

Perdew, J. P., Burke, K., Ernzerhof, M. (1996). Generalized gradient approximation made simple. *Physical review letters*, *77*(18), 3865.
https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.77.3865

Rauhut, G., Pulay, P. (1995). Transferable scaling factors for density functional derived vibrational force
fields. *TheJournalofPhysicalChemistry*, *99*(10), 3093-3100
https://doi.org/10.1021/j100010a019

Sundius, A. T. (2002). Scaling of ab initio force fields by MOLVIB. *VibrationalSpectroscopy*, *29*(1-2), 89-95.
https://doi.org/10.1016/S0924-2031(01)00189-8

Xu, T., Kuang, T., Du, H., Li, Q., Feng, T., Zhang, Y., Fan, G. (2020). Magnoflorine: A review of its pharmacology, pharmacokinetics and toxicity. *Pharmacological Research*, *152*, 104632.
https://doi.org/10.1016/j.phrs.2020.104632

Integración de contenidos de Álgebra lineal utilizando Scilab: un estudio exploratorio con estudiantes de Ingeniería

Benites, J. F[1].; Salcedo, G.[1]; Chaillou L. L.[1]

(1) Departamento de Ciencias Básicas, Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero.

fedebenites@gmail.com; gusalc2.92@gmail.com; lucrechaillou@gmail.com

Resumen

La alfabetización digital en el ámbito universitario permite desarrollar habilidades de gestión de nuevas herramientas, programas, dialectos y redes, mejorando la calidad del proceso de enseñanza-aprendizaje, tanto para profesores como para los estudiantes. Por ello, para integrar los contenidos de la asignatura Álgebra y Geometría Analítica se empleó el programa Scilab. La herramienta didáctica para su implementación fue un taller durante el cual los alumnos, con la orientación de los docentes, trabajaron con diferentes comandos necesarios para la resolución de los temas: matrices, determinantes y sistemas de ecuaciones. Los instrumentos de evaluación utilizados fueron dos listas de cotejo, una referida a la participación de los alumnos y otra para evaluar el trabajo práctico que consistía en la resolución con Scilab de dos situaciones problemáticas contextualizadas; y una encuesta referida al grado de satisfacción del taller. En general, los resultados indicaron un buen grado de participación y de satisfacción de los estudiantes, así como un buen nivel de logro en los aspectos evaluados en el trabajo práctico. El taller de alfabetización digital se presenta como una alternativa interesante para desarrollar el pensamiento crítico y analítico, así como también para integrar contenidos y desarrollar nuevas competencias.

Abstract

Digital literacy in the university environment allows the development of management skills for new tools, programs, dialects and networks, improving the quality of the teaching-learning process, both for teachers and students. Therefore, to integrate the contents of the subject Algebra and Analytical Geometry, the Scilab program was used. The didactic tool for its implementation was a workshop during which the students, with the guidance of the teachers, worked with different commands necessary to solve the topics: matrices, determinants and systems of equations. The evaluation instruments used were two checklists, one referring to student participation and the other to evaluate the practical work that referred to the solving of two contextualized problem situations with Scilab; and a survey referring to the degree of satisfaction of the workshop. In general, the results indicated a good degree of participation and satisfaction of the students, as well as a good level of achievement in the aspects evaluated in the practical work. The digital literacy workshop is presented as an interesting alternative to develop critical and analytical thinking, as well as to integrate content and develop new skills.

Palabras clave: Álgebra - matrices -Scilab - sistemas de ecuaciones lineales

Keywords: Algebra - matrices - Scilab - linear system equations

1. INTRODUCCIÓN

Desde el siglo XIX, el Mundo ha estado en permanente transformación tecnológica, la cual fue determinante para el desarrollo económico de las últimas centurias. Como consecuencia de esto, la producción en la industria y la obsolescencia de los puestos de trabajo aumentaron considerablemente (Weller, 2020).

En la actualidad, las transformaciones económicas surgen a partir de nuevas tecnologías basadas en ciencias de la computación y de los materiales (Vidal et al., 2019), las cuales generan brechas entre los requerimientos de los sistemas

productivos y la formación adquirida en los sistemas educativos (Gontero y Zambrano, 2018). Es necesario, entonces, que estos sistemas se adecuen a las nuevas exigencias del mercado laboral y de la sociedad, mediante procesos de alfabetización digital (Cabrol y Severin, 2010).

En la educación superior se identificaron brechas importantes vinculadas al insuficiente uso de tecnologías, al desfasaje en la difusión de la ciencia y de la tecnología, a las dificultades en la integración de diferentes disciplinas y a la poca flexibilidad en programas educativos, entre otros aspectos (Zúñiga, et al., 2020).Para subsanar estas disparidades se debe adaptar e innovar en educación para preparar a los estudiantes para enfrentar el cambio permanente, el manejo de la incertidumbre y la autoorganización. Además, la pandemia por el virus SARS-CoV-2 evidenció que la incorporación de tecnologías digitales impulsa el progreso sostenible, y en el aspecto educativo, la formación de los estudiantes, ya que la información está a su disposición, los entornos de aprendizaje son más flexibles, se potencia la formación multimedia, se favorece el aprendizaje colaborativo e independiente, se ofrecen nuevas posibilidades de orientación y se facilita la orientación permanente (Salado et al., 2020).

El avance de la tecnología demanda profesionales con sólida formación en diversas ciencias, entre ellas, la Matemática con capacidad de adaptación y respuesta a los requerimientos del entorno. Esas competencias están vinculadas con la implementación y el uso de nuevas tecnologías (García et al., 2020).

La Matemática es una disciplina fundamental para el desarrollo intelectual, lógico y crítico, en los diferentes entornos de una persona. Dentro de los métodos aplicados para su enseñanza, se distinguen dos muy utilizados, uno orientado a procesos algorítmicos para solucionar problemas tradicionales y otro enfocado en demostraciones y formulismo matemático, que no aporta en la construcción de conocimientos (Lasso Cardona y Conde Rodriguez, 2021). Está incluida tanto en educación básica como universitaria, pero presenta dificultades en el proceso enseñanza-aprendizaje, atribuible a factores sociales (Palmas, 2018), económicos, pedagógicos, epistemológicos (Cruz Portillo, et al., 2019), al tipo de educación (pública o privada), a la metodología de enseñanza y a factores psicológicos (Jiménez et al., 2020).

Para abordar esa problemática, se utilizan metodologías más dinámicas que potencien las competencias de los estudiantes, entre ellas se pueden mencionar: aprendizaje mediante problemas vinculados a la carrera que cursan, que incluyan la comunicación, la argumentación y la participación del estudiante en el proceso (Valbuena et al., 2020); aprendizaje basado en la aplicación de las fórmulas y definiciones a situaciones problemáticas de otras materias (Olarte, 2020); aprendizaje basado en la comunicación docente-estudiante y la aplicación de recursos tecnológicos (Solar, 2018).

En las carreras de Ingeniería, el cálculo mental y el razonamiento matemático son habilidades necesarias que deben ser desarrolladas y entrenadas, las cuales dan un nivel superior de pensamiento (Gürbüz y Erdem, 2016). Una de las asignaturas básicas de su plan de estudios es el Álgebra Lineal y Geometría Analítica, que aporta al perfil del estudiante, la capacidad de desarrollar un pensamiento lógico, heurístico y algorítmico que le permitirá modelar diversos tipos de fenómenos por medio de aproximaciones lineales y resolverlos, así como también, resolver problemas aplicados a la vida ordinaria, a las ciencias y a las ingenierías. Al igual que otras asignaturas del área disciplinar, el proceso enseñanza-aprendizaje presenta dificultades vinculadas con su naturaleza epistemológica que generalmente presenta los objetos de estudio en forma abstracta y sin vinculación e interpretación física o geométrica, y con el uso de diferentes tipos de lenguajes (Oktaç y Trigueros, 2010).Para abordar esas dificultades se han propuesto diferentes metodologías que coinciden en apartarse de la abstracción y del formulismo, para centrarse en la aplicación de los contenidos para solucionar situaciones problemáticas propias de otras asignaturas de su plan de estudios y vinculadas a la carrera para la cual se imparte la

materia, con énfasis en la utilización de tecnología (Costa y Vacchino, 2007;Costa y Justo, 2015).

La vertiginosa difusión de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) y el creciente desarrollo de diversos programas científicos, producen cambios relevantes en los procesos formativos en matemáticas, puesto que permiten la generación de nuevos y mejores recursos didácticos y de autoaprendizaje; así como también una nueva forma de crear y difundir conocimientos o experiencias cognitivas. Es decir, las TIC acompañan a la reconceptualización de los saberes (Vinueza y Gallardo, 2017). Si bien existen numerosos programas específicos, tales como MatLab, Maple, Mathematica, Mathcad, deben ser adquiridos a través de una membresía de pago, impidiendo el acceso de muchos estudiantes. Por este motivo, es muy importante el uso de tecnologías libres, es decir, aquellas que se basan en el principio del conocimiento concebido como un bien común, sin restricciones para su acceso. El programa libre se ha convertido en una opción viable para el sector educativo en sus distintas modalidades, ya que se puede incorporar una diversidad de recursos tecnológicos que permite el acceso a un sistema de formación integral, sin barreras o dependencias tecnológica (Santaella, 2019).

Entre las actividades pedagógicas utilizadas para implementar programas específicos de métodos numéricos, se destaca el taller, puesto que implica seguir un programa corto e intensivo, para grupos pequeños, en el que se enfatiza la participación de los estudiantes para que desarrollen conocimientos autónomos y colaborativos superando la brecha entre la teoría y la práctica para solucionar problemas (Pimienta Prieto, 2012).

En virtud de lo expuesto, para implementar el uso de un programa específico gratuito, se utilizó como herramienta un taller de integración de contenidos de Álgebra utilizando Scilab. Los objetivos fueron de evaluar la participación del estudiante, analizar los resultados que obtuvieron aplicando el programa, y valorar su grado de satisfacción una vez concluida la actividad.

2. MATERIALES YMÉTODOS

La asignatura Álgebra y Geometría Analítica formaparte del área de Matemática del plan de estudios de la carrerade Ingeniería en Alimentos de la Facultad de Agronomía y Agroindustrias (FAyA) de la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE). Se dicta durante el primer cuatrimestre del primer año de la carrera, con una carga horaria de 10 hs semanales. Durante su desarrollo se aplican los contenidos del Álgebralineal para resolver problemas específicos de la carrera. Antes de finalizar el dictado se implementó un taller denominado “Tutorial de resolución de ejercicios y problemas de Álgebra lineal con Scilab”, durante el cual los docentes explicaron en detalle las características del mismo, así como también los comandos necesarios para resolver operaciones con matrices, cálculo de inversa y de transpuesta de una matriz, determinantes y sistemas de ecuaciones algebraicas lineales, utilizando funciones y comandos del programa. Para la resolución de sistemas de “m” ecuaciones algebraicas lineales con “n” incógnitas cada una, se utilizaron algoritmos en lenguaje Scilab correspondientes al método de Gauss-Jordan, la Regla de Cramer y el Teorema de Cramer.

Durante el taller los estudiantes resolvieron ejercicios referidos a los tópicos mencionados en el párrafo anterior y dos problemas contextualizados de la industria alimentaria. El primer problema se refirió a una fábrica de mermeladas, cuyo jefe de planta necesitaba conocer la relación entre cantidad y calidad de materias primas e insumos y sus costos necesarios para producir un determinado volumen de producto terminado. La segunda situación problemática se refirió a una fábrica de flanes en polvo, en la cual el ingeniero a cargo debía calcular el número de lotes que se podían elaborar, simultáneamente, de tres sabores diferentes, considerando el stock de tres materias primas. Los estudiantes recibieron la orientación de los docentes para que seleccionaran el método de resolución y lo aplicaran a los problemas propuestos, corroborando los resultados que obtuvieron manualmente.

El taller fue optativo, tuvo una duración de 2:20 h con un intervalo de 20 min. Los estudiantes instalaron el programa, varios días antes de la actividad, siguiendo las explicaciones de un video disponible en el aula virtual de la asignatura. Además,contaron con una guía dealgoritmos en el lenguaje del programa Scilab para resolver numéricamente cada una de las actividades propuestas de ejercitación y de aplicación. La

cantidad de alumnos que cursaron la asignatura durante marzo a junio de 2022 fue 46 estudiantes, de los cuales 17 participaron en el taller.

Las herramientas de evaluación del taller fueron una lista de cotejo referida a la participación del estudiante en el taller, una encuesta de satisfacción y una lista de cotejo empleada por el docente para evaluar el trabajo práctico con las salidas Scilab para cada ejercicio.

La primera lista de cotejo incluyó auto, hetero y coevaluación. Se consideraron10 indicadores o evidencias referidas a: trae los materiales necesarios; es puntual; presta atención y es activo; plantea interrogantes; responde a las consignas (que incluyó: identifica comandos para matrices; identifica los métodos de resolución de sistemas de ecuaciones y sus sentencias; selecciona adecuadamente comandos y sentencias; explicita el sistema de ecuaciones en forma desarrollada y matricial; selecciona el método adecuado para resolverlo; aplica las sentencias y comandos de Scilab); es meticuloso en la lectura de la información generada y su registro; actúa colaborativamente con sus compañeros de grupo;respeta al docente y a sus compañeros; y hace generalizaciones de cada tema. Se utilizó una escala de 1 a 10 puntos.

La segunda lista de cotejo se utilizó para la heteroevaluación del trabajo práctico que consistía en la resolución con Scilab de dos situaciones problemáticas propias de la industria alimentaria. Se consideraron7 indicadores de logro: entrega a tiempo y en forma prolija, identifica comandos para matrices;aplica los comandos correctamente; obtiene resultados correctos de ejercicios; identifica las variables de los problemas, plantea adecuadamente el sistema de ecuaciones e introduce los datos en Scilab y presenta la solución en Scilab.

Se utilizó una escala dicotómica SI/NO, como respuesta a cada uno de los interrogantes planteados. Se asignó el valor 1 a cada respuesta SI y 0 a la respuesta NO, de manera que la calificación asignada según el puntaje total de respuestas positivas fue: Excelente trabajo: 7; Muy buen trabajo: 5-6; Regular trabajo:4; No cumple con el objetivo, debe mejorar: 1 a 3. La calificación final se calcula como el promedio de las parciales.

La encuesta de satisfacción del taller incluyó los siguientes interrogantes:¿el lenguaje técnico del taller fue fácil de comprender?; ¿el material que ofreció el curso cubre todos los temas explicados?; mencione cuáles son los temas que se abordaron de forma adecuada y completa; mencione los temas que no se desarrollaron claramente; ¿cómo califica el tiempo de respuesta al tener una duda durante el taller?; ¿las actividades realizadas fueron congruentes en cuanto al tipo de taller?; ¿considera que la organización del taller fue la adecuada?; ¿siente que sus conocimientos y habilidades han mejorado luego de asistir al taller?; ¿piensa que podrá aplicar en el futuro lo aprendido? y haga las sugerencias que considere oportunas. Las alternativas de respuesta a las preguntas indicadas anteriormente fueron para algunas: muy fácil, fácil, poco fácil y difícil; para otras poco adecuado, adecuado y muy adecuado; y de selección de cada tema abordado en forma completa. Se contabilizaron las opciones seleccionadas por los estudiantes para establecer los porcentajes de las respuestas de cada pregunta.

Seguidamente, se presentó el planteo de las dos situaciones problemáticas del trabajo práctico:

Situación problemática 1: Se denomina Mermelada, a la confitura elaborada por cocción de frutas (entera, en trozos, pulpa, jugo normal o concentrado) con uno o más edulcorante. El producto terminado deberá contener una cantidad no menor a 65% de sólidos solubles, determinados por refractometría. Las características mínimas de materias primas para la elaboración de una mermelada son las siguientes:

Frutas: debe ser lo más fresca posible, también se utilizan combinaciones de frutas maduras y las que recién han comenzado su maduración.

Azúcar: importante en la gelificación cuando se combina con la pectina.

Ácido cítrico: importante en la gelificación aporta brillo, color, sabor y ayuda a evitar la cristalización del azúcar y extraer la pectina.

Pectina: presente en las membranas de las células, la cantidad depende de la maduración de la fruta. Se utiliza por su capacidad para formar geles en presencia de azúcar y ácido.

A continuación, se presenta la materia prima necesaria para elaborar mermeladas de diferentes sabores en dos calidades diferentes. En cada lote de preparación se elaboran 100 kg de producto. A la calidad I se la considera un producto Premium y a la calidad II un producto comercial tradicional.

Tabla 1. Cantidades de materia prima de primera calidad I para cada sabor de mermelada.

Sabores	Fruta [kg]	Azúcar [kg]	Pectina [g]	Ácido cítrico [g]	Agua [L]
Durazno	65	65	245	410	12,5
Frutilla	65	65	195	300	12,5
Cereza	65	65	300	300	12,5

Tabla 2. Cantidades de materia prima de segunda calidad II para cada sabor de mermelada.

Sabores	Fruta [kg]	Azúcar [kg]	Pectina [g]	Ácido cítrico [g]	Agua [L]
Durazno	33	66	350	345	16
Frutilla	33	66	290	250	16
Cereza	33	66	380	250	16

a) Determine la cantidad total de materia prima que necesitaría para elaborar un lote de cada sabor de las dos calidades presentadas en una jornada de 8 horas.
b) Calcule la cantidad de total de materia prima necesaria para elaborar 400 Kg de Mermelada de Calidad Premium de cada sabor.
c) Considerando la lista de precios que se presentan en la Tabla 3, determine el costo total de materia prima para elaborar mermeladas de frutillas de segunda calidad.

Tabla 3. Costo por kilogramo de materia prima.

Materia prima	Costo[$/kg]
Frutilla	200
Azúcar	80
Pectina	5000
Ácido cítrico	1000

Situación problemática 2: Tres materias primas mayoritarias se combinan para formar tres sabores de Flanes. Un batch de flan de Naranja requiere 1010 kg de leche, 36 kg de huevo deshidratado y 20 kg de azúcar. Para el flan de dulce de leche se requiere 1030 kg de leche, 30 kg de huevo deshidratado y 15 kg de azúcar. Finalmente, un lote de flan de chocolate requiere de 980 kg de leche, 42 kg de huevo deshidratado y 18 kg de azúcar. Si están disponibles 12,1 toneladas de leche, 0,426 toneladas de huevo deshidratado y 0,207 toneladas de azúcar. ¿Cuántos lotes de los tres tipos de flanes se podrían producir si se usa toda la materia prima disponible?

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el desarrollo del taller se observó que, durante la resolución del primer ejercicio, los alumnos no presentaron dificultad, ya que trabajaron de manera sincrónica con los docentes. Realizaron operaciones básicas en forma matricial: suma dematrices, producto de una matriz por un escalar y producto entre matrices. Scilab presenta una notación simple y precisa para estas operaciones, lo cual favorece la identificación de comandos por parte de los alumnos para resolver matrices y operaciones entre ellas.
Sin embargo, se observaron dificultades para plantear el sistema de ecuaciones algebraicas lineales asociado al problema de aplicación referido a la elaboración de mermelada, pero avanzaron con la orientación de los docentes. Luego, seleccionaron un método de cálculo, y, por último, escribieron en la ventana adecuada de Scilab los comandos necesarios para obtener la solución del problema. Los últimos dos pasos se llevaron a cabo con poca intervención del docente y obtuvieron el resultado correcto. En la resolución del segundo problema de aplicación, no se observaron dificultades ni errores, percibiéndose que los estudiantes trabajaron de manera más independiente. Se observó también el desarrollo de capacidades incipientes para usar el programa Scilab de manera adecuada y crítica. El uso de este programa les permitió entender aspectos de la temática propuesta que durante el desarrollo de la asignatura les resultaron difíciles de comprender. Se percibió también que facilita la consulta, la interactividad, la discusión en conjunto de procedimientos y resultados. Además, les resultó ventajoso comunicarse en un estilo poco habitual en ellos y con uso del lenguaje propio de la matemática.La participación de los estudiantes fue entusiasta.
Del análisis de la lista de cotejo que completaron los estudiantes sobre su participación, surgieron los resultados que se detallan a continuación. La disponibilidad de netbooks fue baja, sin embargo, los estudiantes se agruparon, siguieron las instrucciones de los docentes, se mostraron atentos, plantearon interrogantes referidos al manejo del programa y a sus aplicaciones en la vida universitaria y profesional. Trabajaron en forma ordenada, pero tuvieron dificultades y errores para ingresar los elementos de una matriz y nombrarla antes de realizar operaciones. Les resultó complicado aplicar la regla y el teorema

de Cramer. Se evidenció la falta de práctica con la computadora, puesto que les resultódificultoso seleccionar los comandos adecuados e identificar variables.
No se observaron diferencias sustanciales en la auto, hetero y coevaluación de esta lista de cotejo. La evaluación del trabajo práctico mostró que los estudiantes alcanzaron un buen nivel de logro de los aspectos evaluados.Como el taller no era obligatorio, solamente el 18% entregó la resolución del trabajo práctico por escrito.
Con respecto al grado de satisfacción del taller, la facilidad de comprensión del lenguaje técnico del taller se muestra en la Fig. 1. Los estudiantes solamente seleccionaron las opciones muy fácil y fácil. Estas respuestas posiblemente se deban a que contaron no solamente con la presentación oral de los aspectos teóricos y prácticos delos temas del taller, sino también porque contaban con un tutorial que incluía los contenidos, que se difundió días previos de la actividad a través del aula virtual de la asignatura.

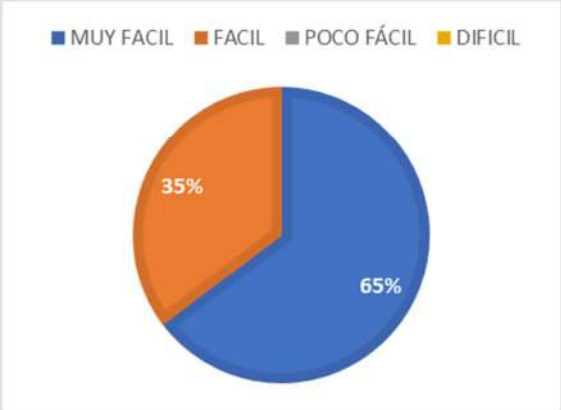


Figura 1. Facilidad de comprensión del lenguaje técnico

En la Fig. 2 se observa que la mayoría de los estudiantes consideró que todos los temas del taller se desarrollaron en forma adecuada, mientras que el 29% no respondió esa pregunta.

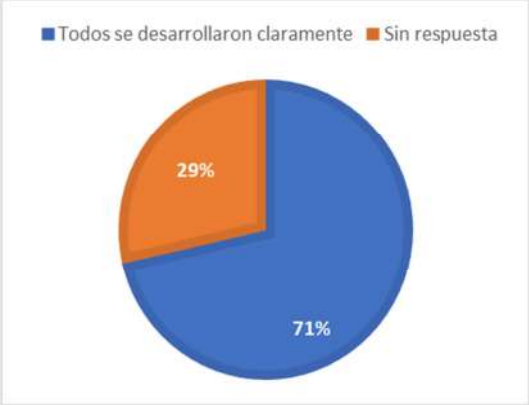


Figura 2. Claridad de los temas desarrollados

Durante el desarrollo del taller los docentes estuvieron atentos a todos los planteos, dudas e interrogantes de los estudiantes para responder a la brevedad. Esto se evidenció en la encuesta, puesto que la mayoría de los estudiantes calificó el tiempo de respuesta como muy adecuado. Los resultados porcentuales se muestran en la Fig. 3.

Figura 3. Tiempo de respuesta ante interrogantes

La totalidad de los estudiantes consideró que: el material suministrado en el taller (videos explicativos y notas aclaratorias) abarcó todos los temas desarrollados; las actividades planteadas fueron adecuadas y congruentes con los temas desarrollados; la organización fue correcta; que sintieron que sus conocimientos y habilidades mejoraron luego de asistir al taller; que piensan aplicar lo aprendido en el futuro. Entre las sugerencias indicaron que se podrían abordar temas más complicados, aplicar Scilab en todas las unidades temáticas de la asignatura y que el taller se debería desarrollar en el laboratorio de informática. El 50% de los participantes no hizo ninguna sugerencia.

Haciendo la integración de los resultados de las dos listas de cotejos y de la encuesta de satisfacción, se observa que un buen número de estudiantes trajo los materiales y trabajó en el desarrollo del trabajo práctico. Todos se mostraron con buena predisposición y participaron activamente, fueron puntuales y respetuosos tanto con sus compañeros como los docentes. Trabajaron en grupo, plantearon interrogantes dentro del mismo y a los profesores a cargo. Esto permitió que resolvieran con facilidad las actividades de ejercitación. Sin embargo, en las actividades de aplicación referidas a problemas propios de la ingeniería en alimentos se observaron dificultades en la interpretación de los algoritmos en Scilab, correspondientes a la regla y el teorema de Cramer, a pesar de que en la encuesta de satisfacción la totalidad consideró que el lenguaje técnico era fácil de comprender. Esto posiblemente se deba a la falta de destreza en el manejo de la computadora y sobre todo la falta de habilidad para seleccionar los comandos adecuados del software ya que era la primera vez que los aplicaban. Con respecto a los temas abordados en el taller, la mayoría de los estudiantes consideró que se desarrollaron adecuadamente los tópicos referidos a matrices y sus operaciones, y a los distintos métodos de resolución de sistemas de ecuaciones algebraicas lineales. Pero durante la resolución del trabajo práctico fue necesario que los docentes ayudaran en la identificación en las variables de entrada y salida de cada problema evidenciando las dificultades de lectocompresión en los alumnos de primer año, además se observaron inconvenientes en el cambio de unidades de medida. En las instancias finales de la resolución de los problemas, los docentes orientaron a los alumnos, en varias oportunidades, para que encontraran la respuesta del problema que implicaba no solamente el cálculo de la cantidad de materias primas necesarias para la elaboración de todas las líneas de fabricación sino también la cantidad total de cada una por lote de productos elaborados. En la etapa final del taller, los estudiantes hicieron la interpretación de la solución numérica de cada una de las respuestas obtenidas y plantearon generalizaciones.

En la encuesta si bien el taller satisfizo sus expectativas, los estudiantes plantearon la necesidad de aumentar la carga horaria del mismo y la de incorporar otros temas de la asignatura, no sólo para mejorar la destreza en el uso de Scilab sino también la comprensión de otros tópicos.

En un futuro cercano se planea implementar un mayor número de talleres de manejo de Scilab que incluya otros temas de la asignatura, tales como espacios vectoriales, transformaciones lineales; y valores y vectorespropios. Estas actividades didácticas planteadas como talleres, incluirán problemas propios de su campo profesional puesto que el aprendizaje basado en problemas obliga a los alumnos a desplegar una actividad intelectual interesante que los hace protagonistas del proceso y estimula la autocrítica sobre su propio saber. Además, les permitirá vincular los conceptos matemáticos con problemas propios de su campo profesional, opinar y debatir, realizar el análisis y razonamiento de la situación en grupo.

4. CONCLUSIONES

El taller de integración de contenidos de Álgebra lineal utilizando Scilab es una primera aproximación a la aplicación de actividades didácticas mediante tecnologías digitales. El mismo resulta útil para el desarrollo de capacidades cognitivas de los estudiantes que son valiosas para sudesempeño en el nivel universitario, por la gran diversidad de herramientas a aplicar para la resolución de problemas, la rapidez del cálculo de las variables involucradas en los mismos y la integración de los contenidos de la asignatura, entre otros aspectos.Además, les dio una perspectiva diferente con respecto a la resolución de los problemas de aplicación del álgebra matricial, y les permitió interactuar con sus compañeros para comparar y discutir los resultados obtenidos. La utilización de esta herramienta generó en los estudiantes un acercamiento al uso de la tecnología, la creación y la comunicación de contenido digital, permitiendo un incipiente desarrollo de capacidades para el uso adecuado y crítico de softwares específicos.

5. BIBLIOGRAFÍA

Cbrola, M., y Severin, E. (2010). TICs en educación: una innovación disruptiva. Aportes, 2, 1-2. https://publications.iadb.org/publications/spanis

h/document/TICS-en-Educación-Una-Innovación-Disruptiva.pdf

Costa, V.A. y Justo, C.E. (2015). El álgebra lineal en la resolución de problemas altimétricos de Topografía, en Encuentro Educación Matemática en Carreras de Ingeniería, Argentina.

Costa, V.A. y Vacchino, M.C. (2007). La enseñanza y aprendizaje del Álgebra lineal en la Facultad de Ingeniería, UNLP, en Congreso Chileno de Educación en Ingeniería, Chile, 2007.

Cruz, M., Portillo, H., Tchoshanov, M., Flores, S. y Ramírez, O. (2019). Caracterización de las prácticas sociales asociadas a la génesis de la inducción matemática: un estudio exploratorio en estudiantes de ingeniería. *Revista Educación, 43*(2). DOI: https://doi.org/10.15517/revedu.v43i2.30493

García, M., Gómez, A., Solano, N. y Fernández, R. (2020). Las creencias de los futuros maestros sobre la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas. *Revista Espacios, 41*(9), 14. Recuperado de https://bit. ly/2Ka0JfH

Gontero, S. y Zambrano, M. J. (2018). *La construcción de sistemas de información sobre el mercado laboral en América Latina.* Serie: Macroeconomía del Desarrollo No.199 88 p.

Gürbüz, R. y Erdem, E. (2016). Relationship between mental computation and mathematical reasoning. *Cogent Education, 3*(1). DOI: https://doi.org/10.1080/2331186X.2016.1212683

Jiménez, A., Garza, A., Méndez, C., Mendoza, J., Acevedo, J., Arredondo, L. y Quiroz, S. (2020). Motivación hacia las matemáticas de estudiantes de bachillerato de modalidad mixta y presencial. *Revista Educación, 44(1)*. DOI: https://doi.org/10.15517/revedu.v44i1.35282

Lasso Cardona, L. A. y Conde Rodriguez, K.N.(2021). Khan Academy como herramienta en el aprendizaje de las matemáticas y la programación de computadoras. *Revista interamericana de investigación, educación y pedagogía, 14(1),* 225-250.

Oktaç, A. y Trigueros, M. (2010). ¿Cómo se aprenden los conceptos de álgebra lineal?, Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa, 13, 4-11.

Palmas, S. (2018). La tecnología digital como herramienta para la democratización de ideas matemáticas poderosas. *Revista Colombiana de Educación, (74)*, 109-132. DOI: https://doi.org/10.17227/rce.num74- 6900

Pimienta Prieto, J. H. (2012). *Estrategias de enseñanza-aprendizaje. Docencia universitaria basada en competencias.* México: Pearson Educación

Salado, L., Amavizca, S., Richart, R., y Rodríguez, R. (2020). Alfabetización digital de estudiantes universitarios en las modalidades presencial y virtual. *Revista Electrónica de Investigación e Innovación Educativa-REIIE*, *5*(1), 30-47. http://doi.org/10.5281/zenodo.3629574.

Santaella, S. R. (2019). El docente universitario como promotor de la educación mediada por las tecnologías de información y comunicación libre. In Crescendo, [S.l.], v. 9, n. 3, p. 399 - 415, ene. 2019. ISSN 2307-5260. Disponible en: https://revistas.uladech.edu.pe/index.php/increscendo/article/view/2048.

Solar, H. (2018). Implicaciones de la argumentación en el aula de matemáticas. *Revista Colombiana de Educación, 74,* 155-176. DOI: https://doi.org/10.17227/rce.num74-6902

Valbuena, S., Muñiz, L. y Berrío, J. (2020). El rol del docente en la argumentación matemática de estudiantes para la resolución de problemas. *Revista Espacios, 41*(9), art. 15. Recuperado de https://bit. ly/2VPFdlV

Vidal Ledo, M. J.; Carnota Lauzán, O.; Rodríguez Díaz, A. (2019). *Tecnologías e innovaciones disruptivas*. Educación Médica Superior, 33(1). http://ref.scielo.org/5wt7y6

Vinueza, S. F. V., y Gallardo, V. P. S. (2017). Impacto de las TIC en la educación superior en el Ecuador. *Revista Publicando*, 4(11), 355-368. Recuperado de: https://core.ac.uk/download/pdf/236644472.pdf.

Weller, J. (2017). Las transformaciones tecnológicas y su impacto en los mercados laborales. https://repositorio.cepal.org/handle/11362/42089.

Zúñiga et al. (2020). *El nuevo enfoque de participación docente ante los retos y desafíos*

tecnológicos de la cuarta revolución industrial [Doctoral dissertation, Secretaría de Educación Pública, Sistema de Universidad Virtual, Universidad de Guadalajara]. https://revistaespacios.com/a20v41n11/a20v41n11p24.pdf

Nuevo enfoque para cuantificar la irreversibilidad de cualquier proceso espontáneo

Galli, Daniel E.

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy, Ítalo Palanca 10, CP 4600, Jujuy, Argentina.degalli@fi.unju.edu.ar

RESUMEN

Este escrito es una contribución para comprender qué es el trabajo perdido y porque cuantifica la irreversibilidad de los procesos espontáneos. En base a la condición de reversibilidad que tienen los procesos de trabajo máximo, en este enfoque se define trabajo de retorno, trabajo ideal de restauración y proceso ideal de restauración. Así se deducen dos ecuaciones para calcular el trabajo perdido por la evolución de cualquier proceso espontáneo en un medioambiente cuya temperatura no necesariamente tiene que ser la misma en todo espacio que ocupa el sistema durante el proceso.Mediante dos ejemplos, se muestracómo se aplican las diferentes alternativas que brinda el nuevo enfoque propuesto. Con este enfoque, también se deduce la conocida ecuación que relaciona el trabajo perdido con la variación de entropía, aplicable solo cuando la temperatura del medioambiente es la misma en todo el espacio donde ocurre el proceso. Saber calcular el trabajo perdido y cuantificar la irreversibilidad es fundamental para diseñar en las distintas disciplinas, procedimientos y procesos que apunten a optimizar el uso de las fuentes primarias de energía y asegurar una evolución sustentable.

ABSTRACT

This paper is a contribution to understand what lost work is and why it quantifies the irreversibility of natural processes. Based on the reversibility condition that algebraically maximum work processes have, in this new approach return work, ideal restoration work and ideal restoration process are defined, and two equations are deduced to calculate the work lost due to the evolution of any natural process in an environment whose temperature does not necessarily have to be the same in every space occupied by the system undergoing the process. Through the development of two examples, it was shown how the different alternatives offered by the new proposed approach are applied. With this approach, the well-known equation that relates lost work to the change in entropy is also deduced, applicable only when the temperature of the environment is the same throughout the space where the process occurs. Knowing how to calculate lost work and quantify irreversibility is essential to design, in the different disciplines, procedures and processes that aim to optimize the use of primary energy sources and ensure sustainable evolution.

Palabras claves: procesos espontáneos; trabajo perdido; irreversibilidad; medioambiente

Keywords: natural process; lost work; irreversibility; environment

1. INTRODUCCIÓN

En este escrito se propone una alternativa para cuantificar el trabajo perdido por la evolución de cualquier proceso espontáneo experimentado por un sistema macroscópico. Un sistema macroscópico es una región del universo claramente definida en términos de coordenadas espaciales con referencia fija o móvil. La superficie real o imaginaria que encierra esta región se denomina frontera, contorno o pared y es lo que separa al sistema de sus alrededores o su entorno. Dentro de un mismo sistema es posible identificar dos o más subsistemas. Cuando es así, se dice que el sistema es compuesto y los subsistemas que incluye pueden a su vez ser subsistemas no compuestos o compuestos. Cada uno de los subsistemas que conforman un sistema compuesto, tiene su propio contorno o pared que lo separa de sus propios alrededores. Estos alrededores lo pueden constituir otro (u otros)

subsistema(s) que pertenece(n) al mismo sistema y, en caso de que parte de su contorno sea también contorno del sistema, parte de sus alrededores también son los alrededores del sistema. De acuerdo con Cengel (2006) se debe diferenciar entre alrededores, alrededores inmediatos y medioambiente (o ambiente). Por definición, los alrededores son todo lo que está fuera de las fronteras del sistema; los alrededores inmediatos corresponden a la porción de los alrededores que es afectada por el proceso, y el medioambiente (o ambiente) es la región que se halla más allá de los alrededores inmediatos y cuyas propiedades no son afectadas por el proceso en cualquier punto.Cualquiera que sea el proceso espontáneo que experimenta un sistema, siempre se puede pensar que comienza con la liberación de vínculos o la eliminación de restricciones que lo mantienen en un estado inicial, para luego evolucionar hasta alcanzar un estado final caracterizado por otros vínculos y otras restricciones. Independientemente de los estados intermedios por los que pasa el sistema, tanto para el estado inicial como para el estado final es posible considerar que se cumplen las relaciones de las propiedades termodinámicas que describen macroscópicamente los estados de equilibrio. Por esta razón se puede aplicar la Termodinámica Clásica para evaluar resultados de interacciones energéticas que ocurren durante la evolución de cualquier proceso espontáneo.

Todo subsistema no compuesto contiene una cierta cantidad de energía que es una magnitud cuantificable y extensiva. La energía se guarda en diferentes modos que se agrupan en dos categorías principales: modos de acumulación de energía interna y modos de acumulación de energía externa. En los modos de acumulación de energía interna, la energía se almacena y se intercambia en y desde el interior del subsistema. Los modos de acumulación de energía externa son los relacionados con su posición en un campo de fuerzas y con su velocidad. La cantidad de energía acumulada en uno o más modos puede cambiar cuando el subsistema intercambia energía con sus alrededores o cuando hay intercambio entre distintos modos en los que la almacena. Cuando la cantidad de energía acumulada en uno o más modos cambia se dice que el subsistema está experimentando un proceso y que su estado está cambiando.

Un subsistema macroscópico no compuesto está constituido por una cantidad enorme de partículas microscópicas (cantidad del orden del número de Avogadro que, para un mol gramo, es igual a 6,024 x 10^23). Es claro que describir el estado de equilibrio interno de este subsistema macroscópico detallando la totalidad de las variables microscópicas necesarias para una descripción completa, es prácticamente imposible. Sin embargo, de acuerdo con lo enunciado en la Teoría Termodinámica Macroscópica de Equilibrio, para describir el estado de equilibrio interno de un subsistema macroscópico no compuesto y sin restricciones internas, solo es necesario especificar su energía interna y un número relativamente pequeño de variables macroscópicas extensivas medibles denominadas variables de estado.Estas variables de estado se simbolizan genéricamente como $X_k(1 \leq k \leq m)$ y $N_j(1 \leq j \leq n)$. Para cada subsistema, el número *m*es igual a la cantidad de modos de acumulación de energía que están asociados a alguna variablemedible que lo representa macroscópicamente. El número *n*es la cantidad de componentes que tiene el subsistema y $N_j$es el número de moles del componente*j*. Esta importante reducción en el número de variables es posible porque cada una de las variables de estado$X_k$es el promedio estadístico de un subconjunto que comprende un número enorme de variables microscópicas que describen diferentes microestados compatibles con el macro estado. Todos los microestados compatibles, corresponden al modo de acumulación de energía interna asociado a la variable X_k que lo representa macroscópicamente. La cantidad de energía intercambiada desde este modo en un proceso infinitesimal siempre se puede cuantificar como $P_k dX_k$ donde P_k también es el promedio estadístico de un enorme número de variables microscópicas compatibles con el estado macroscópico. A diferencia de la variable X_k, la variable P_k es independiente del tamaño del subsistema. Por similitud con la definición de trabajo en los cursos de pregrado de Física a esta cantidad de energía, que es una forma de energía en tránsito cuando el subsistema la está intercambiando, se la identifica como trabajo generalizado. La variable P_k es una fuerza generalizada y dX_k es un desplazamiento generalizado. Cuando el proceso no es infinitesimal y el subsistema evoluciona entre un estado inicial caracterizado entre otras variables por la variable $X_{k\,inicial}$ y un estado final caracterizado entre otras variables por la variable

$X_{k\,final}$, el trabajo generalizado intercambiado por el subsistema desde el modo asociado a la variable X_k es igual a $\int_{X_{k\,inicial}}^{X_{k\,final}} P_k\, dX_k$. Desde los modos de acumulación de energía que están asociados aalguna variable de estado macroscópica medible, solamente se entrega y se recibe energía en forma de trabajo, y la cantidadrecibida queda disponible para ser entregada totalmente como trabajo.

También hay otros modos en los que un subsistema no compuesto almacena su energía interna. Estos modos comprenden otros subconjuntos de un número enorme de variables microscópicas "ocultas", y no están asociados a ninguna variable de estado macroscópica medible que permita cuantificar la energía que se intercambia. A las cantidades de energía intercambiadas desde estos otros modos de acumulación y que están en tránsito durante un proceso, se las identifica como *calor* y como *trabajo disipado*. Es trabajo disipado cuando la energía en tránsito es entregada como trabajo por un subsistema, y recibida y acumulada por el medioambiente y/o por el mismo subsistema y/o por otro, en modos que no tienen una variable de estado medible que los represente macroscópicamente.

Los modos de acumulación de energía externa que puede tener un subsistema siempre tienen asociada una variable macroscópica medible que permite cuantificar la energía que recibe, entrega, o la que se transforma. Las cantidades de energía externa que un subsistema puede estar intercambiando o transformando durante un proceso se identifican como trabajo.Además de intercambiar energía desde los distintos modos en los que la tiene acumulada, un subsistema no compuesto puede intercambiar materia con su entorno. Tanto el intercambio de materia, como la evolución de reacciones químicas en su interior, cambian su composición química. Al describir la composición química del subsistema detallando el número de moles de sus componentes, implícitamente se asume que los componentes químicos puros son permanentes e indivisibles. Esta suposición es válida cuando los subsistemas evolucionan a temperaturas menores a las necesarias para romper una partícula de cualquiera de las especies químicas que contiene. En Termodinámica Macroscópica de Equilibrio se considera que los sistemas evolucionan a temperaturas que permiten ignorar cualquier ruptura atómica (para lo cual se necesita alcanzar temperaturas del orden de los 6000 K). En consecuencia, las moléculas solo pueden cambiar por su participación en reacciones químicas en las que siempre se mantiene la integridad individual de los átomos.Cuando el sistema intercambia materia con su entorno, también intercambia energía interna y externa almacenada en la cantidad de materia que intercambia.En un proceso infinitesimal, las diferentes cantidades de energía asociadas al intercambio de materia con su entorno se cuantifican multiplicando la cantidad de energía acumulada en cada modo comprendido en un mol gramo del componente que se intercambia, por la variación infinitesimal del número de moles intercambiado. Esto significa que el cambio en la composición del sistema debido al intercambio de materia con su entorno cuantifica el intercambio de la cantidad total de energía contenida en la materia que se intercambia.

Los vínculos y las restricciones al flujo de materia y energía que tiene la pared o contorno que encierra a cualquier subsistema, determinan cuales son los intercambios que puede experimentar con sus alrededores durante un proceso.

La evolución de un proceso espontáneo que experimenta cualquier sistema tiene asociada una cantidad de trabajo perdido. Durante este proceso (que se identificará en forma genérica como proceso α), el medioambiente y los subsistemas que componen el sistema, experimentan intercambios de energía. La suma de la cantidad de energía en forma de trabajo que durante la evolución del proceso α cada subsistema recibe y almacena en modos desde los cuales la puede entregar totalmente como trabajo, tiene un valor que se identificará como E_{rW}^{α} y que depende de los estados inicial y final del sistema que experimenta el proceso α. Estos mismos estados inicial y final se pueden conectar con otros procesos espontáneos diferentes queevolucionan en el mismo medioambiente y en los que, además de los subsistemas que componen el sistema que experimentó el proceso α, interactúan otros subsistemas. En todos estos procesos el valor de E_{rW}^{α} es el mismo. Cualquiera que sea el proceso α siempre es posible imaginar uno de estos otros procesos espontáneos diferentes que evoluciona en forma ideal y en el que los intercambios de energía con el medioambiente se realizan solo con el medioambiente que rodea a cada

subsistema en el estado final del proceso α. En este proceso ideal, la cantidad neta de trabajo que reciben los otros subsistemas que interactúan es máxima. Esta cantidad máxima es la cantidad de trabajo perdido durante la evolución del proceso $\boldsymbol{\alpha}$ porque es elvalor absoluto de la cantidad de trabajo adicional al valor E_{rW}^{α} que el sistema puede entregar cuando el proceso evoluciona en forma ideal y los intercambios de energía con el medioambiente se realizan solo con el medioambiente que rodea a cada subsistema en el estado final del proceso α. Esto también significa que la cantidad de trabajo perdido es igual al valor absoluto de la mínima cantidad de trabajo que deben entregar otros subsistemas para revertir el proceso α al estado inicial. Además, la cantidad de trabajo perdido asociada a la evolución del proceso α, es la capacidad potencial que tiene este proceso de entregar una cantidad adicional de trabajo que puede emplearse para revertir otros procesos espontáneos experimentados por otros subsistemas. Resumiendo lo expresado por Giles (1964), si α_1 y α_2 son dos procesos espontáneos y mediante un experimento se puede afirmar que α_1 puede revertir a α_2, este experimento determina si la irreversibilidad de $\alpha_1[I(\alpha_1)]$ es mayor o igual a la irreversibilidad de $\alpha_2[I(\alpha_2)]$. Aun cuando esta afirmación es correcta, concluye que si a y b son los estados inicial y final del proceso (a, b) la irreversibilidad de este proceso es igual a:

$$I(a,b) = S(b) - S(a) \quad (1)$$

Según Katz (2017a) *si bien el trabajo de Giles es muy meritorio en cuanto a la formalización, la misma no puede ser empleada para una gran cantidad de sistemas y procesos*.

Si la irreversibilidad de un proceso espontáneo está relacionada con su capacidad para revertir otros procesos espontáneos, la irreversibilidad se cuantifica con la cantidad de trabajo perdido y no con la variación de entropía entre los estados final e inicial del proceso.

En muchos procesos espontáneos de interés, la temperatura del medioambiente tiene el mismo valor en todo el espacio donde evolucionan los subsistemas que interactúan energéticamente durante el proceso (por ejemplo, la temperatura del medioambiente que rodea a un establecimiento industrial o a una central de potencia). Pero hay procesos espontáneos en los que la temperatura del medioambiente varía entre distintos puntos del espacio que ocupan algunos subsistemas durante su evolución (como es el caso de un ascensor que opera entre la superficie y un túnel profundo de una mina, en donde la temperatura del medioambiente en el túnel es distinta a la del medioambiente en la superficie y ninguna de las dos se ve afectada por el proceso que experimenta el ascensor).

El concepto de trabajo perdido se enseña desde el punto de vista de la disponibilidad de energía para la evolución de los procesos espontáneos que definen cualquier procedimiento que se diseña para lograr cualquier objetivo. No obstante, es importante evaluar el trabajo perdido desde el punto de vista del esfuerzo que hay que hacer para restaurar al sistema al estado inicial del proceso espontáneo que experimentó, y con esta base diseñar procedimientos que aseguren una evolución sustentable. El nuevo enfoque propuesto en este escrito se fundamenta en que, si todos los subsistemas que interactúan durante la evolución de un proceso espontáneo están incluidos en un único sistema, el trabajo perdido se puede calcular como el menor esfuerzo que hay que hacer para que este sistema compuesto retorne al estado inicial del proceso que experimentó. En base a esta idea, se describe como calcular el trabajo perdido para cuantificar la irreversibilidad de cualquier proceso espontáneo en el que cualquier sistema (no compuesto o compuesto por dos o más subsistemas no compuestos) evoluciona en un medioambiente que no necesariamente debe tener igual temperatura en todo el espacio que ocupa cuando avanza desde el estado inicial hasta el estado final.

2 DESARROLLO

2.1 *Procesos de trabajo algebraicamente máximo*

Los procesos de trabajo algebraicamente máximo son procesos ideales siempre posibles de imaginar, que experimentan sistemas compuestos en un tiempo que tiende a infinito. En estos casos extremos el proceso evoluciona en una o más etapas y siempre hay intercambio de trabajo en alguna(s) interacción(interacciones) energética(s) que tiene(n) lugar entre los subsistemas que interactúan. En las interacciones con intercambio de trabajo no hay trabajo disipado y el valor absoluto de la cantidad de trabajo entregada es infinitesimalmente mayor a la cantidad de trabajo recibida. En estas condiciones el proceso

evoluciona espontáneamente en forma cuasiestática. En estos procesos ideales, el valor absoluto de la cantidad neta de energía que se entrega como trabajo es infinitesimalmente mayor al mínimo necesario para que el (los) subsistema(s) que la recibe(n) evolucione(n) hasta alcanzar el estado final. El valor absoluto de la cantidad neta de trabajo entregada también es infinitesimalmente mayor a la máxima cantidad neta de trabajo que puede(n) recibir el(los) subsistema(s) que recibe(n) trabajo durante la evolución de este proceso espontáneo y cuasiestático. Cuando el valor absoluto de una cantidad menor que cero es mínimo significa que esta cantidad es algebraicamente máxima. Por esta razón, sea que la cantidad neta intercambiada como trabajo se considere una cantidad máxima que se recibe o una cantidad mínima en valor absoluto que se entrega, a estos procesos ideales se los denomina *procesos de trabajo algebraicamente máximo*. En estos procesos el trabajo perdido tiende a cero porque el valor absoluto de la mínima cantidad de trabajo que otro(s) sistema(s) tiene(n) que entregar para revertir el proceso espontáneo es un valor infinitesimal que tiende a cero. Esto significa que la irreversibilidad del proceso también tiende a cero. Si la irreversibilidad tiende a cero, unproceso de trabajo algebraicamente máximo es un proceso reversible.

2.2 *Trabajo de retorno*

Se considera un subsistema j incluido en un sistema que evolucionó espontáneamente entre dos estados, en un lugar que tiene un medioambiente cuya temperatura puede ser igual, o variar en el espacio que ocupa el sistema durante su evolución.

El concepto de trabajo de retorno se introduce para deducir una ecuación general que permita calcular la cantidad de trabajo perdido asociada a la evolución de cualquier proceso espontáneo que experimenta cualquier sistema compuesto. El trabajo de retorno está definido para cada uno y todos los subsistemas incluidos en el sistema que evolucionó espontáneamente.

Para definir el trabajo de retorno del subsistema j, imaginar un proceso de trabajo algebraicamente máximo en el cual:

i. el subsistema $j$evoluciona en una o más etapas entre el estado final alcanzado y el estado inicial que tenía en el proceso espontáneo que experimentó el sistema que lo incluye;

ii. en cada etapa, el subsistema j solo puede intercambiar energía en forma de trabajo con fuentes de trabajo reversible y/o energía en forma de calor con un subsistema auxiliar que durante el proceso cumple un ciclo;

iii. en cada etapa, el subsistema auxiliar referido en ii solo puede intercambiar energía en forma de calor con el subsistema j y con el medioambiente que rodea a este subsistema en el estado final del proceso espontáneo experimentado por el sistema que lo incluye. También puede intercambiar energía en forma de trabajo con fuentes de trabajo reversible.

En los procesos de trabajo algebraicamente máximo que cumplen con estas condiciones, el resultado de la suma algebraica de las cantidades de trabajo intercambiadas por el subsistema j y por los subsistemas auxiliares que interactúan energéticamente en cada proceso es único y se define como *trabajo de retorno del subsistema* j, simbolizándose como $W_{R,j}$.

2.3 *Cálculo de la cantidad de trabajo perdido*

Durante la evolución de un proceso espontáneo que experimenta un sistema cualquiera evolucionando entre un estado inicial y un estado final, l subsistemas interactúan energéticamente entre sí y con el medioambiente del lugar donde ocurre el proceso. Para algunos de los subsistemas el trabajo de retorno $W_{R,j}$ es mayor que cero y, para otros, menor que cero. Como $W_{R,j}(\forall j,\ 1 \leq j \leq l)$ es la cantidad de trabajo que se intercambia en el proceso ideal que posibilita que cada subsistema j retorne al estado que tenía al comienzo del proceso espontáneo, la suma algebraica de los valores $W_{R,j}$ correspondientes a todos los subsistemas que interactúan**,** es justamente la cantidad de trabajo algebraicamente mínima que intercambian los l

subsistemas y los subsistemas auxiliares con fuentes de trabajo reversible, para restaurar al sistema al estado que tenía al comienzo del proceso. Como el proceso es espontáneo, esta cantidad de trabajo algebraicamente mínima necesariamente tiene que ser mayor que cero. El resultado de la sumatoria $[\sum_{j=1}^{j=l} W_{R,j}]$ que se denominará *trabajo ideal de restauración* (TIR) es igual al valor absoluto de la menor cantidad de trabajo que hay que entregar para revertir el proceso espontáneo y lograr que el sistema retorne al estado inicial. Entonces, para cualquier procesoespontáneo, la cantidad de trabajo perdido (L) se calcula con la ecuación:

$$L = \sum_{j=1}^{j=l} W_{R,j} (2)$$

El proceso consistente en la evolución de todos los procesos de trabajo algebraicamente máximo que definen el trabajo de retorno de cada uno y todos los subsistemas incluidos en el sistema que experimentó un proceso espontáneo, se denominará *proceso ideal de restauración*. Otra forma de calcular la cantidad de trabajo perdido como resultado de la evolución de cualquier proceso espontáneo se obtiene analizando el proceso integrado por la evolución del proceso espontáneo y la evolución del proceso ideal de restauración. En este proceso integrado los subsistemas que interactúan son el sistema que experimenta el proceso espontáneo, el medioambiente del lugar donde ocurre el proceso, la(s) fuente(s) de trabajo reversible que entrega(n) el trabajo ideal de restauración y los subsistemas auxiliares que cumplen un ciclo. De acuerdo con el Primer Principio de la Termodinámica, y adoptando la "convención egoísta" para los intercambios de energía, la suma algebraica de las cantidades de energía intercambiadas por todos los subsistemas que interactúan debe ser igual a cero. Como el sistema que experimenta el proceso espontáneo y los subsistemas auxiliares retornan al estado inicial, la cantidad de energía que intercambian durante la evolución del proceso integrado es igual a cero. Entonces,

$$-W_f = EIMA)_{pe} + EIMA)_{pR} (3)$$

En la ecuación (3),

- W_f:Cantidad neta de trabajo intercambiada por la(s) fuente(s) de trabajo reversible durante la evolución del proceso ideal de restauración.

- $EIMA)_{pe}$: Cantidad neta de energía intercambiada durante la evolución del proceso espontáneo, por el medioambiente del lugar donde ocurre este proceso.

- $EIMA)_{pR}$: Cantidad neta de energía intercambiada durante la evolucióndelproceso ideal de restauración, por el medioambiente del lugar donde el sistema experimentó el proceso espontáneo.

El medioambiente acumula energía solo en modos que no tienen una variable medible que los represente macroscópicamente, es decir modos de acumulación desde los que no se puede entregar energía en forma de trabajo. Entonces, la cantidad neta de energía intercambiada por el medioambiente durante la evolución del proceso integrado $[EIMA)_{pe}$ más $EIMA)_{pR}]$ es energía intercambiada como calor y/o trabajo disipado. Como el trabajo ideal de restauración es

$$TIR = \sum_{j=1}^{j=l} W_{R,j} = -W_f, (4)$$

el trabajo perdido también se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$L = EIMA)_{pe} + EIMA)_{pR} (5)$$

Según Katz (2017b), el concepto de reversibilidad fue empleado intuitivamente por Carnot (1824). Posteriormente Clausius (1865) introduce el concepto de entropía. Como se afirma en la sección 2.1,los procesos de trabajo algebraicamente máximo son procesos reversibles. Las ecuaciones (2)y (5)están deducidas empleando solamente el Principio de Conservación de la Energía y el concepto de proceso de trabajo algebraicamente máximo, utilizado para definir trabajo de retorno, trabajo ideal de restauración y proceso ideal de restauración. Estas ecuaciones permiten obtener el valor del trabajo perdido por la evolución de cualquier proceso espontáneo que experimenta cualquier sistema compuesto por l subsistemas que interactúan entre sí y con su medioambiente

(cuya temperatura puede ser igual, o variar en el espacio que ocupa el sistema durante su evolución), intercambiando y/o transformando cantidades de energía desde cualesquiera de los modos enlos que tienen almacenada su energía interna y externa.

2.4 *Relación entre trabajo perdido y variación de entropía de un proceso espontáneo*

El nuevo enfoque descripto en este escrito brinda una alternativa para deducir la ecuación que relaciona el trabajo perdido con el aumento de entropía resultante de la evolución de un proceso espontáneo.
Considerar un proceso espontáneo que experimenta cualquier sistema compuesto por l subsistemas que interactúan energéticamente entre sí y con el medioambiente del lugar donde evoluciona. *"La Segunda Ley implica la existencia de una función de estado extensiva"* (Calzetta 2009). Esta función es la entropía y para la evolución del proceso espontáneo se cumple la siguiente ecuación:

$$\Delta S_{pe} = \Delta S_{MA,pe} + \sum_{j=1}^{j=l} \Delta S_{j,pe} (6)$$

En esta ecuación:

- ΔS_{pe}:Variación total de entropía por la evolución del proceso espontáneo.
- $\Delta S_{MA,pe}$: Variación de entropía del medioambiente del lugar donde ocurre el proceso espontáneo.
- $\Delta S_{j,pe}$: Variación de entropía de cada subsistema j $(\forall j, 1 \leq j \leq l)$ por la evolución del proceso espontáneo.

Para el proceso ideal de restauración la variación total de entropía es igual a cero porque se trata de un proceso de trabajo algebraicamente máximo, un proceso reversible (Callen 1960). Como la entropía es una variable de estado y con el proceso ideal de restauración cada uno y todos los subsistemas *j* retornan al estado inicial, se cumple que:

$$\Delta S_{MA,pR} = \sum_{j=1}^{j=l} \Delta S_{j,pe} (7)$$

$\Delta S_{MA,pR}$: variación de entropía del medioambiente del lugar donde ocurre el proceso espontáneo, debido a la evolución del proceso ideal de restauración.
Reemplazando la ecuación (7) en la ecuación (6) resulta:

$$\Delta S_{pe} = \Delta S_{MA,pe} + \Delta S_{MA,pR} (8)$$

Cuando la temperatura del medioambiente del lugar donde ocurre el proceso espontáneo es la misma e igual a T_0 en todo el espacio que ocupa el sistema durante su evolución, multiplicando la ecuación (8) por T_0 resulta:

$$T_0 \Delta S_{pe} = T_0 \Delta S_{MA,pe} + T_0 \Delta S_{MA,pR} (9)$$

Como se afirmó al deducir la ecuación (6), la energía intercambiada por el medioambiente durante la evolución del proceso integrado es energía intercambiada como calor y/o trabajo disipado. Entonces, en la ecuación (12) el término $T_0 \Delta S_{MA,pe}$ es la energía intercambiada por el medioambiente durante la evolución del proceso espontáneo $[EIMA)_{pe}]$ y el término $T_0 \Delta S_{MA,pR}$es la energía intercambiada por el medioambiente durante la evolución del proceso ideal de restauración $[EIMA)_{pR}]$.
Entonces, a partir de las ecuaciones (5) y (9) se obtiene la siguiente ecuación:

$$L = T_0 \Delta S_{pe} (10)$$

Según Kirillin et al (1976), la ecuación (10) es conocida como ecuación de Gouy-Stodolaen honor al físico suizo Gouy (1889) que fue el primero en proponerla, y al termo técnico eslovaco Stodola (1924) que la utilizó por primera vez para resolver problemas técnicos.
Struchtrup (2020) expresa que la cantidad de trabajo perdido por unidad de tiempo en procesos irreversibles calculada como $\left[\dot{W}_{loss} = T_0 \dot{S}_{gen} \geq 0\right]$, a veces se denota como la irreversibilidad. No obstante, es importante destacar que la cantidad de trabajo perdido siempre cuantifica la irreversibilidad de los procesos espontáneos, que son procesos irreversibles.

2.5 *Aplicación del nuevo enfoque propuesto para calcular la cantidad de trabajo perdido en el proceso de obtención de trabajo útil durante la operación de una turbina de vapor*

En esta sección se describe como se aplican las ecuaciones (2), (5) y (10) al proceso de expansión

adiabática que experimenta un kilogramo de vapor de agua sobrecalentado cuando pasa por la turbina de una central de potencia y entrega una determinada cantidad de trabajo útil a una fuente de trabajo reversible.

Las variables que se miden en este ejemplo son: i) la temperatura y la presión del vapor que ingresa a la turbina; ii) la temperatura, la presión y el título del vapor que descarga la turbina; iii) la cantidad de trabajo que realmente entrega la turbina; y iv) la temperatura del medioambiente que rodea a la central de potencia. Para el vapor que ingresa y el que descarga la turbina se eligen las mismascondiciones que tienen en el ejemplo 7.10 propuesto por Smith et al (1997). Para comparar los resultados obtenidos aplicando las distintas alternativas, en todos los casos los cálculos se hacen empleando las tablas de vapor sobrecalentado anexadas en el mismo libro.

El estado inicial del vapor de agua al comienzo del proceso espontáneo de expansión es el que tiene cuando ingresa a la turbina (estado 1). En este estado tiene una presión $P_1 = 8.600\ kPa$ y una temperatura $T_1 = 500°C(773{,}15K)$. El estado final es el que tiene cuando sale de la turbina una vez finalizado el proceso (estado 2). En el estado 2 tiene una presión$P_2 = 10\ kPa$,, una temperatura $T_2 = 45{,}83°C(318{,}98K)$ y un título o calidad (fracción de vapor) $x_2 = 0{,}9378$. La cantidad de trabajo que realmente entrega la turbina es igual a $-955{,}6\ kJ(kg)^{-1}$. La temperatura del medioambiente que rodea a la central de potencia donde opera la turbina es $T_0 = 25°C(298{,}15K)$.

La forma diferencial del balance de energía por kilogramo de vapor de agua que se expande en una turbina adiabática circulando en estado estacionario y despreciando los términos correspondientes a la variación de energía potencial y energía cinética, es la siguiente:

$$du + d(Pv) = dw(11)$$

$$dw_{disipado} - Pdv + d(Pv) = dw(12)$$

$$dw_{disipado} + vdP = dw(13)$$

Cuando el proceso es ideal no hay trabajo disipado. En el estado final del proceso ideal (estado 3) el vapor tiene la misma presión que en el estado 2 $(P_3 = P_2)$, y el trabajo que entrega la turbina es:

$$w_{ideal} = \int_{P_1}^{P_3} vdP(14)$$

Conociendo la ecuación de estado PVT del vapor de agua, es posible obtener el valor w_{ideal} calculando la integral de la ecuación (14).

Cuando el proceso de expansión adiabática no es ideal, el trabajo que entrega la turbina es:

$$w_{real} = \int_{P_1}^{P_2} vdP + w_{disipado}(15)$$

Como se trata de una expansión adiabática, el trabajo disipado es energía entregada como trabajo y disipada como calor en el mismo vapor de agua. El trabajo disipado como calor evapora parte del agua condensada durante la expansión y aumenta el título desde el valor x_3 hasta alcanzar el valor x_2 correspondiente al vapor que descarga la turbina cuando opera en forma real. Entonces:

$$w_{disipado} = \lambda_e(x_2 - x_3)(16)$$

En la ecuación (16) λ_e es el calor latente de vaporización a la presión $10\ kPa$ y temperatura $45{,}83°C(318{,}98K)$. El valor obtenido a partir de datos de tablas es $\lambda_e = 2393kJ(kg)^{-1}$.Para comparar los resultados aplicando las alternativas que brinda el nuevo enfoque, el valor de w_{ideal} se obtiene empleando las tablas de vapor. El valor obtenido es:

$$w_{ideal} = -1274{,}2\ kJ(kg)^{-1}(17)$$

Para aplicar la ecuación (2), hay que calcular el trabajo de retorno de los dos subsistemas que intercambian energía durante el proceso.Para el vapor de agua, uno de los procesos de trabajo algebraicamente máximo que cumple con las condiciones que definen el trabajo de retorno, es un proceso que evoluciona en dos etapas. En la primera el subsistema va del estado 2 al estado 3 y entrega en forma cuasiestática a un subsistema auxiliar, una cantidad de calor igual en valor absoluto a la cantidad de trabajo disipado durante la evolución del proceso espontáneo. A su vez el subsistema auxiliar, también en forma cuasiestática, entrega una cierta cantidad de trabajo (que se simboliza como $W_{2\to3}^{SA}$) a una fuente de trabajo reversible y una cierta cantidad de calor a una fuente fría, que es el medioambiente que rodea a la central de potencia. En esta etapa del proceso, la fuente caliente

mantiene su temperatura constante igual a $318{,}98K$. Como la temperatura del medioambiente también se mantiene constante e igual a $298{,}15K$, el trabajo que entrega el subsistema auxiliar a la fuente de trabajo reversible es

$$W_{2\to3}^{SA} = (w_{real} - w_{ideal})\left(1 - \frac{298{,}15K}{318{,}98K}\right) = -20{,}8\ kJ(kg)^{-1} \quad (18)$$

En la segunda etapa que va del estado 3 al estado 1, el vapor recibe de una fuente de trabajo reversible la siguiente cantidad de trabajo mínima necesaria para retornar al estado 1:

$$W_{3\to1}^{v} = -w_{ideal} = 1274{,}2\ kJ(kg)^{-1} \quad (19)$$

El trabajo de retorno para el vapor de agua es igual a:

$$W_{R,vapordeagua} = -1253{,}4\ \ kJ(kg)^{-1} \quad (20)$$

El otro subsistema que interactúa durante el proceso es una fuente de trabajo reversible que recibe una cantidad de trabajo igual a $955{,}6\ kJ(kg)^{-1}$. El trabajo de retorno para este subsistema es igual al valor absoluto de esta misma cantidad de trabajo que debe entregar a otra fuente de trabajo reversible, para retornar al estado que tenía al comienzo del proceso espontáneo.

$$W_{R,ftr} = -955{,}6\ kJ(kg)^{-1} \quad (21)$$

Aplicando la ecuación (2) el trabajo perdido en este proceso es:

$$L = W_{R,vapordeagua} + W_{R,ftr} = 297{,}8\ kJ(kg)^{-1} \quad (22)$$

Para aplicar la ecuación (5) hay que calcular la energía intercambiada con el medioambiente durante la evolución del proceso espontáneo y también, la energía intercambiada con el medioambiente durante la evolución del proceso ideal de restauración que calcula el trabajo de retorno para el vapor de agua con el proceso ideal 2-3-1. Como la turbina está térmicamente aislada y no hay disipación en la entrega de trabajo útil a la fuente de trabajo reversible, durante la evolución del proceso espontáneo no hay intercambio de energía con el medioambiente. Entonces:

$$EIMA)_{pe} = 0 \quad (23)$$

La energía intercambiada con el medioambiente durante el proceso ideal de restauración es la cantidad de calor que entrega al medioambiente el sistema auxiliar durante la evolución de la etapa 2-3. Esta cantidad de calor es igual a:

$$EIMA)_{pR} = (w_{real} - w_{ideal}) - 20{,}8\ kJ(kg)^{-1} = 297{,}7\ kJ(kg)^{-1} \quad (24)$$

Aplicando la ecuación (5), la cantidad de trabajo perdido es igual a:

$$L = EIMA)_{pe} + EIMA)_{pR} = 297{,}7\ kJ(kg)^{-1} \quad (25)$$

El ejemplo elegido permite mostrar que, además del proceso ideal 2-3-1, existe otro proceso de trabajo algebraicamente máximo que cumple con las condiciones que definen el trabajo de retorno para el vapor de agua. En el diagrama T vs S de la Figura 1 están graficados el proceso 2-3-1 y el proceso alternativo 2-4-5-1.

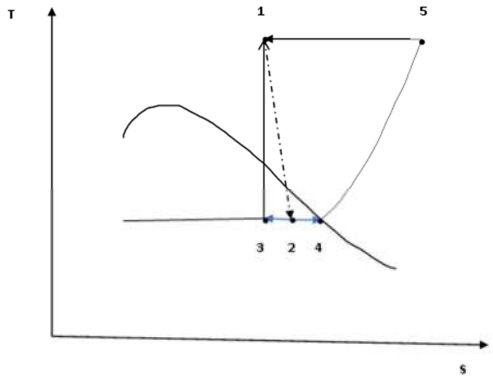


Figura 1: Procesos 2-3-1 y 2-4-5-1 para calcular el trabajo de retorno del vapor de agua

Aplicando correctamente la definición de trabajo de retorno enunciada en el ítem 2.2, se verifica

que el valor obtenido para el trabajo de retorno del vapor de agua calculado con el proceso ideal alternativo 2-4-5-1, es igual al obtenido cuando se calcula con el proceso ideal 2-3-1.
Por último, en las condiciones que evoluciona el proceso espontáneo, también es posible calcular la cantidad de trabajo perdido utilizando la ecuación (10).
Como el proceso de expansión adiabática ideal es un proceso reversible, los valores de s_3 (igual a s_1) y s_2 se obtienen de las tablas para el vapor de agua:

$$s_2 = 7{,}6846\ kJ(kg)^{-1}(K)^{-1}$$

$$s_3 = s_1 = 6{,}6858\ kJ(kg)^{-1}(K)^{-1}$$

Siendo $T_0 = 298{,}15\ k$ y $\Delta S_{pe} = s_2 - s_3 = 0{,}9988\ kJ(kg)^{-1}(K)^{-1}$, el trabajo perdido calculado con la ecuación (13) es igual a:

$$L = T_0 \Delta S_{pe} = 297{,}8\ kJ(kg)^{-1} \quad (26)$$

Los valores obtenidos en las ecuaciones (22), (25) y (26) para las diferentes alternativas que brinda el nuevo enfoque, son similares con una diferencia despreciable.

2.6 *Ejemplo de cálculo de la cantidad de trabajo perdido cuando el medioambiente no tiene la misma temperatura en todo el espacio que ocupa el sistema durante su evolución.*

Considerar el proceso de ascenso de una jaula que funciona en una mina transportando mineral desde un túnel que está a una profundidad igual a z metros medida desde la superficie, y que la temperatura del medioambiente en el túnel es distinta a la temperatura del medioambiente en la superficie.
Se considera un sistema de acoplamiento mecánico simplificado en el que la jaula asentada en el piso del túnel y cargada con mineral (subsistema J) tiene una masa total J y, mediante un cable, está unida a dos contrapesos cuyas masas M (subsistema M) y m (subsistema m) son tales que la suma $(M + m)$ es ligeramente mayor a J. El cable está guiado por dos roldanas soportadas desde una viga, como muestra la Figura 2. El proceso de ascenso de la jaula se inicia cuando se quita el soporte rebatible que mantiene a los contrapesos en la superficie. Cuando finaliza este proceso, la jaula llega a la superficie, los contrapesos se asientan en el piso del túnel y se acciona el soporte rebatible para mantener a la jaula en la superficie. Alcanzado el estado final del proceso de ascenso, la jaula se descarga y se desacopla el contrapeso M. La masa m del contrapeso que sigue acoplado es ligeramente menor a la masa de la jaula vacía j. Así, una vez descargada en la superficie, se quita el soporte rebatible para iniciar el proceso espontáneo de descenso de la jaula para que sea cargada nuevamente. El mecanismo se completa con otro subsistema que entrega el trabajo necesario para que el contrapeso M ascienda hasta la superficie, se acople junto al contrapeso m para que la jaula cargada inicie un nuevo proceso de ascenso. El proceso de ascenso de la jaula finaliza cuando los contrapesos M y m impactan en el piso del túnel, se disipan las consecuencias del impacto y el sistema alcanza el estado final. El proceso de descenso de la jaula finaliza cuando la jaula vacía impacta en el piso del túnel, se disipan las consecuencias del impacto y el sistema alcanza el estado final.
Para facilitar la explicación del cálculo de la cantidad de trabajo perdido aplicando las ecuaciones (2) y (5) se considera que: i) el cable es inextensible y de masa despreciable; ii) el rozamiento con el aire debido al movimiento y la fricción en el mecanismo de acoplamiento son despreciables, y iii) la jaula, los contrapesos y todos los elementos que comprende el mecanismo de acoplamiento, no sufren deformaciones ni roturas durante la evolución de los procesos de ascenso y descenso.

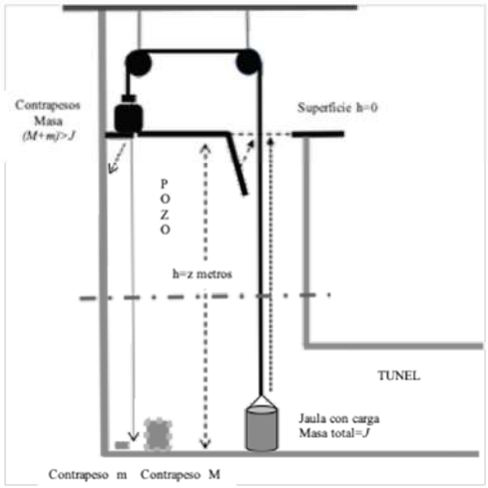


Figura 2: Ascensor para transporte de mineral hacia la superficie

Tanto para el proceso de ascenso como de descenso de la jaula, se considera que se conocen las masas de la jaula cargada (J) y de la jaula vacía (j), las capacidades caloríficas media de la jaula cargada $(\overline{C_J})$ y vacía $(\overline{c_j})$ y las capacidades caloríficas media de los contrapesos M y m $(\overline{C_M} = \overline{c_m})$. También se consideran conocidas la temperatura del medioambiente en el túnel (T_0^t) y la temperatura del medioambiente en la superficie(T_0^s).

Sabiendo que la temperatura del medioambiente en el túnel es $T_0^t = 318\,K$ y la del medioambienteen la superficie es $T_0^s = 298\,K$, el trabajo de retorno para los subsistemas que interactúan durante el proceso espontáneo de ascenso de la jaula cargada se calcula como se describe a continuación.

Para la jaula, el proceso de trabajo algebraicamente máximo que cumple con las condiciones que definen el trabajo de retorno, evoluciona en dos etapas. En la primera, el subsistema ubicado en la superficie se calienta desde $298\,K$ hasta $318\,K$ intercambiando energía en forma de calor con el fluido auxiliar de una bomba de calor ideal, que recibe trabajo de una fuente de trabajo reversible y también recibe calor del medioambiente de la superficie, que es el medioambiente del espacio que ocupa la jaula en el estado final del proceso espontáneo de ascenso. Como la bomba de calor es ideal, la cantidad de trabajo que recibe el fluido auxiliar desde la fuente de trabajo reversible es la siguiente:

$$W_{sa}^{bc} = \left[(318 - 298) - 298\int_{298}^{318}\frac{dT_{(J)}}{T_{(J)}}\right]\overline{C_J}J \quad (27)$$

$$W_{sa}^{bc} = 0{,}643K\,\overline{C_J}J$$

En la segunda etapa, el subsistema desciendemediante un proceso cuasiestático intercambiando energía solamente con una fuente de trabajo reversible a la que entrega una cantidad de trabajo igual a $-Jgz$.

El trabajo de retorno para el subsistema jaula es:

$$W_{R,jaula} = 0{,}643K\,\overline{C_J}J - Jgz \quad (28)$$

Para los contrapesos, que en el estado final del proceso están en el túnel, el proceso de trabajo algebraicamente máximo que cumple con las condiciones que definen el trabajo de retorno, también evoluciona en dos etapas. En la primera, los subsistemas se enfrían desde $318\,K$ hasta $298\,K$ intercambiando energía en forma de calor solamente con el fluido auxiliar de un refrigerador ideal, que también recibe trabajo de una fuente de trabajo reversible y entrega calor al medioambiente del túnel, que es el medioambiente del espacio que ocupan los subsistemas M y m en el estado final del proceso espontáneo de ascenso de la jaula cargada. La cantidad de trabajo que recibe el fluido auxiliar desde la fuente de trabajo reversible es la siguiente:

$$W_{sa}^{ref} = \left[(298 - 318) - 318\int_{318}^{298}\frac{dT_{(M+m)}}{T_{(M+m)}}\right]K\overline{C_M}(M+m) \quad (29)$$

$$W_{sa}^{ref} = 0{,}657K\overline{C_M}(M+m)$$

En la segunda etapa, los subsistemas M y m ascienden en forma cuasiestática intercambiando energía solamente con una fuente de trabajo reversible desde la que reciben una cantidad de trabajo igual a$(M+m)gz$.

El trabajo de retorno para los subsistemas M y m, es:

$$W_{R,contrapesos} = 0{,}657K\,\overline{C_M}(M+m) + (M+m)gz \quad (30)$$

Aplicando la ecuación (2), el trabajo perdido en el proceso de ascenso de la jaula cargada con mineral es:

$$L_{ascenso} = W_{R,jaula} + W_{R,contrapesos} \quad (31)$$

$$L_{ascenso} = 0{,}643\,K\overline{C_J}J + 0{,}657\,K\overline{C_M}(M+m) + [(M+m)-J]gz \quad (32)$$

Para aplicar la ecuación (5) hay que calcular la energía intercambiada por el medioambiente durante la evolución del proceso espontáneo y durante la evolución del proceso ideal de restauración.

Durante la evolución del proceso espontáneo la jaula entrega al medioambiente de la superficie una cantidad de calor igual a $-20K\,\overline{C_J}J$ y los contrapesos reciben del medioambiente del túnel $20K\,\overline{C_M}(M+m)$. Además, durante el proceso espontáneo en el medioambiente del espacio donde evoluciona el sistema se disipa una cantidad de energía potencial igual a $[(M+m)-J]gz$. La energía intercambiada por el medioambiente durante la evolución del proceso espontáneo es:

$$EIMA)_{pe} = 20K\,\overline{C_J}J - 20K\,\overline{C_M}(M+m) + [(M+m)-J]gz \quad (33)$$

Para calcular la energía intercambiada por el medioambiente durante la evolución del proceso ideal de restauración, hay que tener en cuenta que en el proceso que define el trabajo de retorno de la jaula, el medioambiente de la superficie entrega una cantidad de energía igual a $\left(-20K\,\overline{C_J}J + 0{,}643K\,\overline{C_J}J\right)$, y en el que define el trabajo de retorno de los contrapesos el medioambiente del túnel recibe una cantidad igual a $\left(20K\,\overline{C_M}(M+m) + 0{,}657K\,\overline{C_M}(M+m)\right)$. Laenergía que intercambia el medioambiente durante la evolución del proceso ideal de restauración es:

$$EIMA)_{pR} = \left(-20K\,\overline{C_J}J + 0{,}643\,\overline{C_J}J\right) + \left(20K\,\overline{C_M}(M+m) + 0{,}657K\,\overline{C_M}(M+m)\right) \quad (34)$$

Aplicando la ecuación (5) la cantidad de trabajo perdido resulta igual a:

$$L_{ascenso} = 0{,}643K\,\overline{C_J}J + 0{,}657K\,\overline{C_M}(M+m) + [(M+m)-J]gz \quad (35)$$

Los resultados obtenidos aplicando las ecuaciones (2) y (5) son iguales y, para el proceso espontáneo de descenso de la jaula vacía, el cálculo del trabajo perdido se desarrolla en forma similar.

En este ejemplo no es posible aplicar la ecuación (10) para calcular el trabajo perdido porque la temperatura del medioambiente no es igual en todo el espacio que ocupan los subsistemas que interactúan durante el proceso.

Es importante destacar que, sea que la jaula suba o baje y que la temperatura del túnel sea mayor o menor que la de la superficie, la cantidad de trabajo perdido en estos procesos espontáneos siempre es mayor que cuando la temperatura es igual en todo el espacio que ocupan los subsistemas que interactúan.

3 CONCLUSIONES

En este escrito se demostró que en base a la condición de reversibilidad que tienen los procesos de trabajo algebraicamente máximo, la cantidad de trabajo perdido (que cuantifica la irreversibilidad de cualquier proceso espontáneo) se puede obtener calculando el trabajo ideal de restauración cuando se aplica la ecuación (2), o calculandola energía intercambiada por el medioambiente durante el proceso integrado por la evolución del proceso espontáneo seguida por la evolución del proceso ideal de restauración, empleando la ecuación (5). Sabiendo que la entropía es una función de estado extensiva y en base a la definición de proceso ideal de restauración, se dedujo la conocida ecuación (10) que relaciona el trabajo perdido con el aumento de entropía que deriva de la evolución de un proceso espontáneo en un medioambiente que tiene igual temperatura en todo el espacio que ocupan los subsistemas que interactúan energéticamente durante el proceso. Mediante el desarrollo de dos ejemplos, se mostró como se

aplican las diferentes alternativas que brinda el nuevo enfoque propuesto. Este nuevo enfoque permite comprender la relación que existe entre trabajo perdido, irreversibilidad y variación de entropía. Es una contribución importante teniendo en cuenta que, además de los procesos espontáneos que ocurren en la naturaleza, los procedimientos y procesos que se diseñan para lograr cualquier objetivo consisten en una sucesión de procesos espontáneos. Esto significa que hay una cantidad enorme de procesos espontáneos que pueden experimentar sistemas diferentes evolucionando entre muchos pares de estados en lugares con un medioambiente cuya temperatura puede ser igual o variar entre diferentes puntos del espacio que ocupa cada sistema cuando evoluciona hasta alcanzar el estado final. En este escrito se demuestra la importancia que tiene partir de conceptos fundamentales (como es el concepto de reversibilidad) para obtener resultados que son de mucha aplicación en el campo de la ciencia y la tecnología. Comprender que es la irreversibilidad y saber calcular la cantidad de trabajo perdido es fundamental para diseñar en las distintas disciplinas, procedimientos y procesos que aseguren el uso racional de las fuentes primarias de energía y minimicen el impacto de alteraciones perjudiciales garantizando una evolución sustentable.

4 REFERENCIAS

Callen, H.B. (1960). *Thermodynamics.* New York, USA. John Wiley & Sons, Inc.

Calzetta, E. (2009). *Entropía.* Buenos Aires, Argentina. Instituto Nacional de Educación Tecnológica.

Carnot, S. (1824). *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres a développercette puissance*. Paris, Bachelier, France. AncienÉlève de L'ÉcolePolitechnique.

Clausius, R. (1865). Uber verschiedene für die AnvendungbequemeFomen der Hauptgleichugen der mechanischenWärmetheorie. *Annalen der Physik und Chemie*, Band CXXV, N^0 7, pp. 390-391.

Çengel, Y. A. y Boles, M. A. (2007). *Termodinámica (5a ed.).* México D. F., México. McGraw-Hill.

Giles, R. (1964). *Mathematical Foundations of Thermodynamics.* Oxford, England. Pergamon Press.

Gouy (1889). Sur l'énergie utilizable. *J. Phys. Theor. Appl.* 8(1), pp. 501-518. <10.1051/jphystap:018890080050101>, <jpa-00239008>

Katz, M. (2017a). *¿Qué es esa cosa llamada Entropía?*. Buenos Aires, Argentina. Asociación Química Argentina.

Katz, M. (2017b). *Sadi Carnot y las Máquinas Térmicas.* Buenos Aires, Argentina. Asociación Química Argentina.

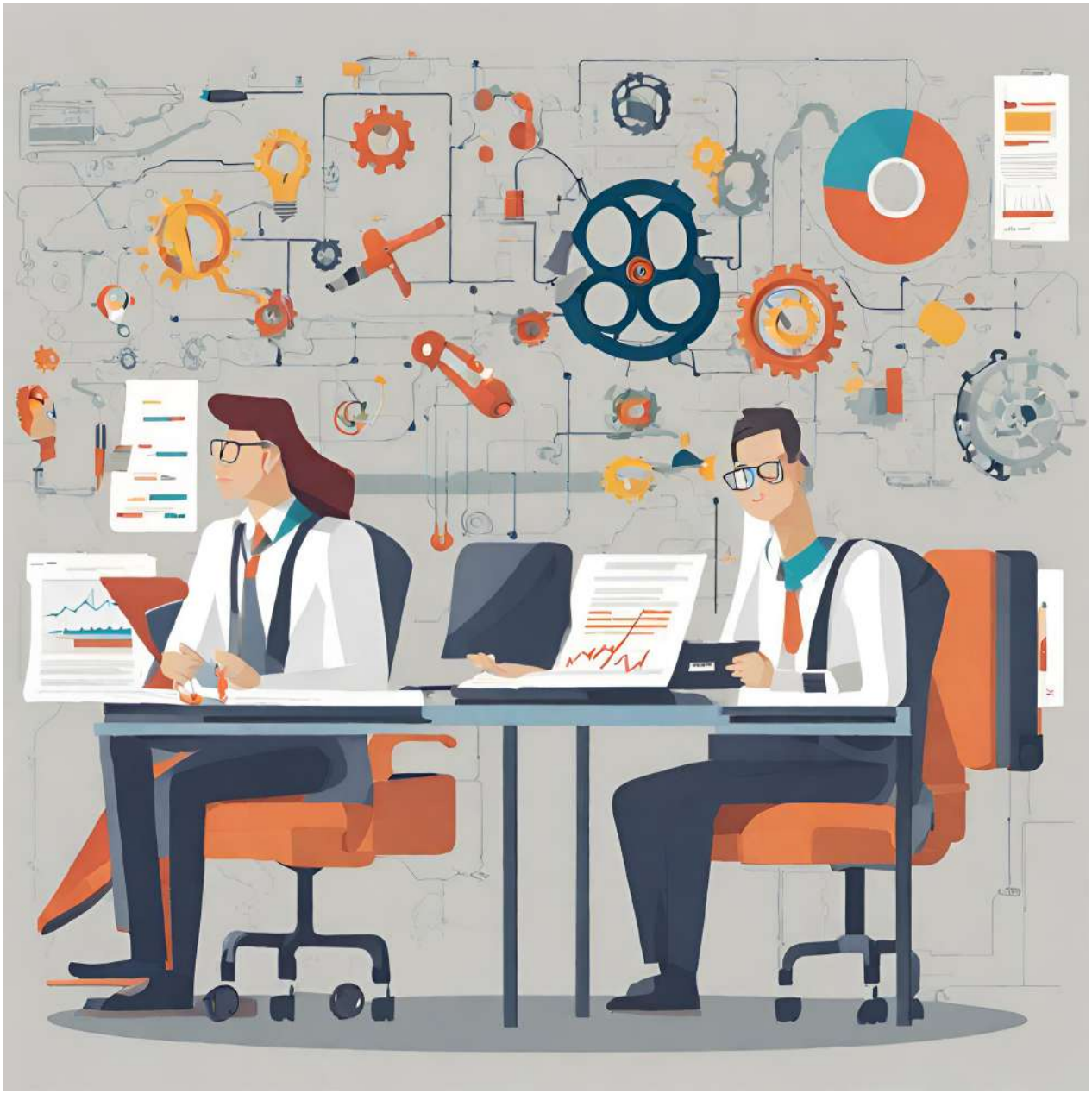
Kirillin, V. A., Sichev, V. V. y Sheindlin, A. E. (1976). *Termodinámica Técnica.* Moscú, URSS. MIR.

Smith, J. M., Van Ness, H. C. y Abbot, M. M. (1997). *Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química (5ª ed.).*México D. F., México. McGraw-Hill.

Stodola, A. (1924). *DAMPF-UND GAS-TURBINEN miteinemanhangüber die aussichten der wärmekrat-maschinen*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg GMBH. DOI <10.1007/978-3-642-50854-7>

Struchtrup, H. (2020). *Entropy and the Second Law of Thermodynamics-the nonequilibrium perspective.* Entropy 2020, 22(7), 793. https://doi.org/103390/e22070793

COMPUTACIÓN E INFORMÁTICA



Explorando el potencial de GPT-4 para obtener la certificación Project Management Professional (PMP)

Acosta Parra, Carlos[1]; Barrera, María Alejandra[1]; Montejano, Germán[2]; Vilallonga, Gabriel.[1]

(1) Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional de Catamarca. carlosacostap@tecno.unca.edu.ar; mbarrera@tecno.unca.edu.ar; gvilallo@tecno.unca.edu.ar

(2) Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales, Universidad Nacional de San Luis. gmonte@unsl.edu.ar

RESUMEN

En una era donde la inteligencia artificial (IA) está impactando numerosas disciplinas, el potencial de los modelos de lenguaje como GPT-4 en el ámbito de la gestión de proyectos resulta fascinante. Este estudio profundiza en cómo GPT-4 puede enfrentarse al examen Project Management Professional (PMP). A través de una evaluación exhaustiva, que implica preguntas de opción múltiple, se evaluaron minuciosamente las capacidades de GPT-4 en los tres dominios centrales de la certificación PMP: Personas, Procesos y Entorno del Negocio.

El estudio señala la necesidad de incorporar preguntas de diversos formatos y niveles de complejidad, enfatizando la importancia de futuras investigaciones para comparar GPT-4 con otros modelos de lenguaje, y evaluar su eficacia en diversas tareas y contextos dentro de la gestión de proyectos. En conclusión, GPT-4 se muestra como un recurso significativo en la formación de gestores de proyectos, con resultados que indican un notable rendimiento promedio del 88%, destacando en el dominio de Procesos con 90%, y mostrando también una alta consistencia en los dominios de Personas y Entorno del Negocio, con resultados del 86% y 88% respectivamente.

ABSTRACT

In an era where artificial intelligence (AI) is impacting numerous disciplines, the potential of language models like GPT-4 in the realm of project management is captivating. This study delves into how GPT-4 can tackle the Project Management Professional (PMP) exam. Through a comprehensive assessment, involving multiple-choice questions, GPT-4's capabilities were meticulously evaluated across the three core domains of the PMP certification: People, Processes, and Business Environment.

The study points to the need to incorporate questions of various formats and complexity levels, emphasizing the importance of future research to compare GPT-4 with other language models, and assess its effectiveness across different tasks and contexts within project management. In conclusion, GPT-4 emerges as a significant asset in training project managers, with results indicating an impressive average performance of 88%, excelling in the Processes domain with 90%, and also showing high consistency in the People and Business Environment domains, with scores of 86% and 88% respectively.

Palabras claves: Gestión de proyectos - Certificación PMP - Inteligencia artificial - GPT-4

Keywords: Project management - PMP certification - Artificial Intelligence - GPT-4

1. INTRODUCCIÓN

La gestión de proyectos es una disciplina que requiere habilidades y conocimientos específicos para llevar a cabo proyectos exitosos. En los últimos años, la inteligencia artificial (IA) ha mostrado un gran potencial en diversas áreas, incluida la gestión de proyectos (Boudreau, 2019). Uno de los modelos de lenguaje más avanzados es el modelo de lenguaje Generative Pre-Trained Transformer 4 (GPT-4), desarrollado por OpenAI (2023a, b), que ha demostrado una capacidad impresionante para comprender y generar texto de manera coherente en una amplia variedad de contextos (OpenAI, 2023c).

La certificación Project Management Professional (PMP) (Project Management Institute, 2023) es un estándar reconocido internacionalmente en la gestión de proyectos, que requiere que los profesionales demuestren habilidades y conocimientos específicos. El problema de investigación central de este estudio es determinar si el modelo GPT-4 puede demostrar competencias suficientes para certificar como PMP.

Los objetivos del presente estudio son los siguientes:

- Evaluar la capacidad del modelo GPT-4 para responder preguntas relacionadas con la certificación PMP en sus diferentes dominios.
- Identificar las fortalezas y debilidades del modelo GPT-4 en relación con la certificación PMP.
- Discutir las implicaciones de los resultados para la aplicación de la IA en la gestión de proyectos y sugerir áreas de investigación futura.

Al evaluar si GPT-4 puede adquirir y demostrar competencias suficientes para certificar como PMP, se contribuye al conocimiento sobre el potencial y las limitaciones de los modelos de lenguaje en la gestión de proyectos. Además, los resultados pueden informar a los profesionales e investigadores de la gestión de proyectos sobre cómo GPT-4 domina los conocimientos de ese campo laboral.

Este trabajo presenta una de las líneas de investigación correspondiente a lo establecido en una de las líneas de investigación del proyecto denominado "Ingeniería de Software en la era de las Industrias 4.0", aprobado y subsidiado por la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Catamarca y que se desarrolla en ámbitos del Departamento de Informática de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la UNCa.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Se llevó a cabo una revisión exhaustiva de la literatura relevante para establecer un marco sólido y bien fundamentado para la investigación. La revisión de la literatura abordó tres áreas clave. Primero, se examinó en detalle el modelo de lenguaje GPT-4, su evolución, características y diversas aplicaciones. Segundo, se analizó la certificación Project Management Professional (PMP) y los conocimientos y competencias que implica. Tercero, se estudió la intersección entre la gestión de proyectos y la inteligencia artificial, con un enfoque particular en el modelo de lenguaje GPT-4.

2.1. El modelo de lenguaje GPT-4

El modelo GPT-4 se desarrolló como una extensión de los esfuerzos continuos de OpenAI para revolucionar el ámbito de los modelos de lenguaje. Se basa en la arquitectura de transformers, que representa un cambio significativo en el campo de la generación de lenguaje natural. GPT-4 se entrena a través de una gran cantidad de texto, permitiéndole producir respuestas altamente coherentes y relevantes en relación con el contexto del estímulo (OpenAI, 2023a, b).

La notoriedad de GPT-4 radica en su capacidad para superar de manera considerable a su predecesor, GPT-3. Este avance se logra a través del aumento en la cantidad de parámetros y la optimización del proceso de entrenamiento, resultando en un rendimiento sobresaliente en una amplia gama de tareas del procesamiento del lenguaje natural (PLN). Gracias a su versatilidad, GPT-4 ha encontrado aplicaciones en áreas tan variadas como asistentes virtuales, generación de texto, traducción automática y resumen de texto, entre otras, posicionándose en la vanguardia de las aplicaciones de IA (OpenAI, 2023b, c).

2.2. La certificación PMP

La certificación Project Management Professional (PMP) del Project Management Institute (PMI) es

un testimonio de competencia profesional en la gestión de proyectos, el cual es reconocido en todo el mundo (Project Management Institute, 2021). Aquellos que aspiran a esta certificación deben demostrar una variedad de habilidades y un profundo conocimiento en dominios que incluyen la gestión de personas, procesos y el entorno empresarial (Phillips, 2022).

Además de competencias técnicas en planificación, ejecución, monitoreo, control y cierre de proyectos, la certificación PMP también mide habilidades de liderazgo y comunicación. Estos elementos son esenciales para la gestión efectiva de proyectos y el logro de resultados exitosos. La formación continua es otro aspecto vital para los profesionales PMP, a fin de mantenerse al día con las últimas tendencias y mejores prácticas en la gestión de proyectos (Project Management Institute, 2019).

2.3. Trabajos previos relacionados con la gestión de proyectos y la inteligencia artificial

La inteligencia artificial ha sido aplicada en diferentes aspectos de la gestión de proyectos, incluyendo la planificación, asignación de recursos, estimación de costos y riesgos, y seguimiento del progreso del proyecto. Algunos estudios han explorado el uso de técnicas de IA, como el aprendizaje automático, algoritmos genéticos y redes neuronales, para optimizar la gestión de proyectos y mejorar la eficiencia y la toma de decisiones (Boudreau, 2019, 2020, 2021; El Khatib & Al Falasi, 2021; Fridgeirsson et al., 2021; Gil et al., 2021; Ong & Uddin, 2020; Taboada et al., 2023). En relación con modelos de lenguaje como GPT-4, no se han encontrado estudios específicos sobre su potencial en la gestión de proyectos, ni en la certificación PMP.

3. METODOLOGÍA

El enfoque metodológico adoptado para evaluar las capacidades de GPT-4 en relación con la certificación PMP consistió en llevar a cabo un estudio cuantitativo utilizando preguntas de exámenes de prueba propuestas por Phillips (2002). Estas preguntas, diseñadas para medir el conocimiento y las habilidades de los candidatos a la certificación PMP, abarcan áreas clave de competencia y conocimientos necesarios para un gestor de proyectos exitoso.

El estudio se centró en el recuento de las respuestas correctas proporcionadas por el modelo GPT-4 en preguntas de tipo opción múltiple, lo que permitió una evaluación objetiva y cuantificable de las respuestas proporcionadas por el modelo en relación con los conocimientos esperados para un gestor de proyectos certificado en PMP.

3.1. Selección de las competencias y conocimientos a evaluar

Se seleccionaron las competencias y conocimientos PMP clave basados en los estándares y guías del PMI, incluyendo el Project Management Body of Knowledge (PMBOK) (Project Management Institute, 2021) y el Examination Content Outline para la actualización del examen PMP a partir de enero de 2021 (Project Management Institute, 2019). Los dominios evaluados incluyen:

- Dominio I: Personas: se centra en el liderazgo y la gestión de equipos, y abarca habilidades interpersonales y de comunicación, resolución de conflictos, capacitación y empoderamiento de los miembros del equipo, colaboración con interesados, y fomentar un ambiente de trabajo positivo y productivo.
- Dominio II: Proceso: se enfoca en la planificación, ejecución y control de proyectos. Incluye la gestión de cronogramas, presupuestos, recursos, calidad, alcance y cambios en el proyecto. También cubre la evaluación y gestión de riesgos, la comunicación con los interesados, la integración de actividades de planificación y la selección de metodologías y prácticas adecuadas para el proyecto.
- Dominio III: Entorno del negocio: se centra en cómo los proyectos interactúan y se ven afectados por el más amplio entorno del negocio. Incluye la planificación y gestión del cumplimiento del proyecto, la evaluación y entrega de beneficios y valor, y la adaptación a cambios en el entorno empresarial externo. También aborda el apoyo al cambio organizacional y la transferencia de conocimientos para garantizar la continuidad del proyecto.

A su vez, por cada dominio el Project Management Institute (2019) define las siguientes tareas:

- Dominio I: Personas:
  - Tarea 1: Gestionar conflictos
  - Tarea 2: Liderar un equipo
  - Tarea 3: Apoyar el rendimiento del equipo
  - Tarea 4: Empoderar a los miembros del equipo y a los interesados
  - Tarea 5: Asegurar que los miembros del equipo/interesados estén adecuadamente capacitados
  - Tarea 6: Construir un equipo
  - Tarea 7: Abordar y eliminar impedimentos, obstáculos y bloqueos para el equipo
  - Tarea 8: Negociar acuerdos del proyecto
  - Tarea 9: Colaborar con los interesados
  - Tarea 10: Construir entendimiento compartido
  - Tarea 11: Involucrar y apoyar a equipos virtuales
  - Tarea 12: Definir las reglas básicas del equipo
  - Tarea 13: Mentorear a los interesados relevantes
  - Tarea 14: Promover el rendimiento del equipo a través de la aplicación de inteligencia emocional
- Dominio II: Procesos:
  - Tarea 1: Ejecutar el proyecto con la urgencia necesaria para entregar valor al negocio
  - Tarea 2: Gestionar las comunicaciones
  - Tarea 3: Evaluar y gestionar riesgos
  - Tarea 4: Involucrar a los interesados
  - Tarea 5: Planificar y gestionar el presupuesto y los recursos
  - Tarea 6: Planificar y gestionar el cronograma
  - Tarea 7: Planificar y gestionar la calidad de los productos/entregables
  - Tarea 8: Planificar y gestionar el alcance
  - Tarea 9: Integrar actividades de planificación del proyecto
  - Tarea 10: Gestionar cambios en el proyecto
  - Tarea 11: Planificar y gestionar las adquisiciones
  - Tarea 12: Gestionar artefactos del proyectos
  - Tarea 13: Determinar la metodología/métodos y prácticas apropiados del proyecto
  - Tarea 14: Establecer estructura de gobernanza del proyecto
  - Tarea 15: Gestionar problemas del proyecto
  - Tarea 16: Asegurar la transferencia de conocimientos para la continuidad del proyecto
  - Tarea 17: Planificar y gestionar el cierre o las transiciones del proyecto/fase
- Dominio III: Entorno del negocio:
  - Tarea 1: Planificar y gestionar el cumplimiento del proyecto
  - Tarea 2: Evaluar y entregar beneficios y valor del proyecto
  - Tarea 3: Evaluar y abordar cambios externos en el entorno del negocio para determinar su impacto en el alcance
  - Tarea 4: Apoyar el cambio organizacional

3.2. Diseño de pruebas y experimentos para evaluar las habilidades de los modelos en cada área de conocimiento y competencia

El diseño de las pruebas y experimentos para evaluar las habilidades de GPT-4 en cada área de conocimiento y competencia PMP implicó ingresar las preguntas de opción múltiple en el modelo y registrar sus respuestas. Para garantizar la validez y confiabilidad de los resultados, se utilizó un conjunto diverso y equilibrado de preguntas que abarcaron todos los dominios de conocimiento y competencias relevantes para la certificación PMP.

Los experimentos se llevaron a cabo en un entorno controlado, asegurando que el modelo GPT-4 tenga acceso a la misma información y

condiciones de prueba. Además, se utilizaron procedimientos estandarizados para la recopilación y análisis de datos, lo que permitió una comparación justa y precisa de los resultados obtenidos por el modelo en términos de respuestas correctas proporcionadas.

Para ilustrar el proceso, a continuación se presenta un ejemplo sobre cómo se introdujo una pregunta a GPT-4 y la respuesta obtenida por el modelo:

- Prompt proporcionado a GPT-4: *"Por favor, responde a la siguiente pregunta relacionada a la gestión de proyectos: Henry es gerente de un proyecto en su organización, y la dirección le ha pedido que cree un plan de gestión del proyecto para definir la declaración del alcance. ¿Qué plan de gestión del proyecto guía la creación de la declaración de la declaración detallada del alcance del proyecto?*
  A) El acta de constitución
  B) El plan de gestión del proyecto
  C) El plan de alcance del proyecto
  D) El plan de gestión del alcance del proyecto"
- Respuesta proporcionada por GPT-4: *D) El plan de gestión del alcance del proyecto*

La respuesta correcta según Phillips (2022) es D) El plan de gestión del alcance del proyecto, por lo cual se marcó como correcta a la respuesta brindada por GPT-4 para esta pregunta.

3.3. Recopilación y análisis de datos

La recopilación de datos se realizó mediante la documentación de las respuestas proporcionadas por GPT-4 a las preguntas del conjunto seleccionado. Estas respuestas se almacenaron en una planilla de cálculo estructurada, lo que facilitó su análisis posterior.

El análisis de datos se centró en el estudio cuantitativo de las respuestas brindadas por GPT-4, comparando las respuestas proporcionadas con las respuestas correctas proporcionadas por Phillips (2022). Se analizó el desempeño del modelo de lenguaje en función de los dominios y tareas propuestas por el Project Management Institute (2019). Este análisis permitió identificar las fortalezas y debilidades de GPT-4 en relación con la certificación PMP.

Mediante el enfoque cuantitativo, se evaluó el rendimiento del modelo de lenguaje en términos de respuestas correctas proporcionadas, lo que proporcionó una comprensión objetiva de sus capacidades y limitaciones en el contexto de la certificación PMP.

4. RESULTADOS

Esta sección presenta los resultados obtenidos de la experimentación con el modelo de lenguaje GPT-4 en el contexto de la certificación PMP. La evaluación se realizó a través de una serie de pruebas que consistieron en exámenes de muestra propuestos por Phillips (2022), y los resultados se analizaron en función de los dominios de conocimiento del PMP. Además, se exploran las fortalezas y debilidades del modelo en relación con los requisitos y competencias evaluados por la certificación PMP, y se proporcionan observaciones y análisis detallados sobre el rendimiento del modelo en cada dominio. Esta evaluación puede resultar de utilidad para entender las capacidades de GPT-4 y su posible implementación en el campo de la gestión de proyectos.

4.1. Presentación de los resultados obtenidos en los experimentos con GPT-4

El modelo GPT-4 respondió a 358 preguntas de exámenes de prueba propuestos por Phillips (2022), mostrando un notable porcentaje de respuestas correctas para todos los dominios del 88%. Al analizar los resultados por dominio, se observó que el modelo de lenguaje tuvo un excelente desempeño en el Dominio I: Personas, con un 86% de respuestas correctas para 85 preguntas. Este fue seguido muy de cerca por el Dominio II: Procesos, que registró un impresionante 90% de respuestas correctas para 255 preguntas, y el Dominio III: Entorno del negocio, que también mostró un alto rendimiento con un 88% de respuestas correctas para 18 preguntas.

A continuación, se muestran de manera detallada los resultados obtenidos al evaluar el modelo GPT-4 en relación con las preguntas de la certificación PMP, organizados por dominios y

tareas. Estos resultados se han resumido en Tablas 1 a la 4.

Tabla 1. Porcentajes de respuestas correctas y cantidad de preguntas para cada dominio.

Dominios	Porcentajes de respuestas correctas	Cantidad de preguntas
Todos los dominios	88%	358
Dominio I: Personas	86%	85
Dominio II: Procesos	90%	255
Dominio III: Entorno del negocio	88%	18

Tabla 2. Porcentajes de respuestas correctas y cantidad de preguntas para las tareas del Dominio I: Personas.

Tareas del Dominio I: Personas	Porcentajes de respuestas correctas	Cantidad de preguntas
Tarea 1: Gestionar conflictos	86%	7
Tarea 2: Liderar un equipo	88%	8
Tarea 3: Apoyar el rendimiento del equipo	100%	7
Tarea 4: Empoderar a los miembros del equipo y a los interesados	100%	2
Tarea 5: Asegurar que los miembros del equipo/interesados estén adecuadamente capacitados	Sin medición	0
Tarea 6: Construir un equipo	83%	6
Tarea 7: Abordar y eliminar impedimentos, obstáculos y bloqueos para el equipo	100%	7
Tarea 8: Negociar acuerdos del proyecto	100%	1
Tarea 9: Colaborar con los interesados	78%	23
Tarea 10: Construir entendimiento compartido	100%	9
Tarea 11: Involucrar y apoyar a equipos virtuales	60%	5
Tarea 12: Definir las reglas básicas del equipo	Sin medición	0
Tarea 13: Mentorear a los interesados relevantes	67%	3

Tarea 14: Promover el rendimiento del equipo a través de la aplicación de inteligencia emocional	75%	4

Tabla 3. Porcentajes de respuestas correctas y cantidad de preguntas para las tareas del Dominio II: Procesos.

Tareas del Dominio II: Procesos	Porcentajes de respuestas correctas	Cantidad de preguntas
Tarea 1: Ejecutar el proyecto con la urgencia necesaria para entregar valor al negocio	91%	11
Tarea 2: Gestionar las comunicaciones	87%	23
Tarea 3: Evaluar y gestionar riesgos	93%	30
Tarea 4: Involucrar a los interesados	100%	14
Tarea 5: Planificar y gestionar el presupuesto y los recursos	84%	25
Tarea 6: Planificar y gestionar el cronograma	85%	26
Tarea 7: Planificar y gestionar la calidad de los productos/entregables	88%	25
Tarea 8: Planificar y gestionar el alcance	73%	15
Tarea 9: Integrar actividades de planificación del proyecto	86%	7
Tarea 10: Gestionar cambios en el proyecto	92%	13
Tarea 11: Planificar y gestionar las adquisiciones	86%	21
Tarea 12: Gestionar artefactos del proyectos	100%	5
Tarea 13: Determinar la metodología/ métodos y prácticas apropiados del proyecto	100%	22
Tarea 14: Establecer estructura de gobernanza del proyecto	71%	7
Tarea 15: Gestionar problemas del proyecto	100%	7

Tarea 16: Asegurar la transferencia de conocimientos para la continuidad del proyecto	100%	4
Tarea 17: Planificar y gestionar el cierre o las transiciones del proyecto/fase	Sin medición	0

Tabla 4. Porcentajes de respuestas correctas y cantidad de preguntas para las tareas del Dominio III: Entorno del negocio.

Tareas del Dominio III: Entorno del negocio	Porcentajes de respuestas correctas	Cantidad de preguntas
Tarea 1: Planificar y gestionar el cumplimiento del proyecto	80%	5
Tarea 2: Evaluar y entregar beneficios y valor del proyecto	100%	3
Tarea 3: Evaluar y abordar cambios externos en el entorno del negocio para determinar su impacto en el alcance	100%	3
Tarea 4: Apoyar el cambio organizacional	71%	7

4.2. Comparación de los resultados con los requisitos de la certificación PMP

Los resultados obtenidos en el experimento reflejan que el modelo de lenguaje GPT-4 posee una destacada capacidad de comprender y aplicar conceptos relacionados con la certificación PMP. La elevada tasa de respuestas correctas en todos los dominios sugiere una profunda comprensión y adaptabilidad del modelo a las diversas áreas de conocimiento abordadas en la certificación. Si bien el modelo ha demostrado ser eficaz en su rendimiento, siempre existe el potencial de explorar áreas específicas para un mayor refinamiento.

4.3. Identificación de las fortalezas y debilidades de GPT-4 en relación con la certificación PMP

Con base en los resultados obtenidos, se destacan las fortalezas pronunciadas del GPT-4 en relación con la certificación PMP. En todos los dominios, el modelo demostró un rendimiento notable, lo que sugiere una sólida comprensión de aspectos clave, desde la gestión de equipos y la comunicación en proyectos hasta la gestión de procesos y el entorno empresarial. Estos altos niveles de precisión indican que el modelo está bien versado en la materia y puede ser una herramienta valiosa para aquellos que buscan entender o enseñar conceptos de gestión de proyectos.

Las fortalezas identificadas refuerzan la viabilidad de utilizar GPT-4 en el ámbito de la gestión de proyectos. Los hallazgos sientan una base sólida para futuros esfuerzos de investigación que busquen aprovechar aún más la efectividad de los modelos de lenguaje en la gestión de proyectos y su preparación para rendir el examen de certificación PMP.

5. DISCUSIÓN

La presente sección se dedica a la discusión en profundidad de los resultados obtenidos en este

estudio, proporcionando un análisis crítico de cómo el rendimiento del modelo de lenguaje GPT-4 se relaciona con el contexto de la gestión de proyectos y la inteligencia artificial. Al desglosar los resultados experimentales, se examinarán las implicaciones y las perspectivas futuras de GPT-4 en relación con la certificación PMP. Además, se identificarán y discutirán las limitaciones del presente estudio y las posibles vías para futuras investigaciones. Cada uno de estos aspectos ayudará a proporcionar una comprensión más clara y completa de la intersección entre la gestión de proyectos y la inteligencia artificial.

5.1. Análisis crítico de los resultados en el contexto de la gestión de proyectos y la inteligencia artificial

Los resultados del estudio proveen una perspectiva reveladora sobre las capacidades del modelo de lenguaje GPT-4 en el marco de la certificación PMP. Con un impresionante rendimiento general del 88% de respuestas correctas en todos los dominios, GPT-4 ha demostrado una competencia significativa en el campo de la gestión de proyectos. Estos resultados refuerzan la idea de que modelos de lenguaje avanzados como GPT-4 pueden desempeñar un papel crucial en la mejora y expansión del conocimiento en la gestión de proyectos.

5.2. Posibles implicaciones de los hallazgos para el campo de la gestión de proyectos y la inteligencia artificial

El notable desempeño de GPT-4 en las preguntas de la certificación PMP sugiere múltiples implicaciones para los campos de la gestión de proyectos y la inteligencia artificial. GPT-4, con su alto rendimiento, puede ser utilizado no solo como una herramienta educativa de gran valor sino también como un recurso de consulta para profesionales en ejercicio. Los hallazgos podrían impulsar la creación de sistemas de inteligencia artificial más centrados en la gestión de proyectos, transformando la forma en que se abordan problemas y se toman decisiones en este campo.

5.3. Limitaciones del estudio y posibles mejoras en investigaciones futuras

A pesar de los resultados positivos, este estudio tiene algunas limitaciones. Una de ellas es que la evaluación se basó únicamente en preguntas de opción múltiple. Aunque los resultados son prometedores, futuras investigaciones podrían incorporar diferentes formatos de preguntas para obtener una imagen más completa del rendimiento de GPT-4.

Asimismo, este estudio se centró exclusivamente en GPT-4 y no consideró otros modelos de lenguaje o técnicas de inteligencia artificial. Investigaciones futuras podrían beneficiarse de comparar GPT-4 con otras tecnologías.

Por otro lado, sería útil realizar un análisis más detallado sobre los factores que pueden influir en el rendimiento de GPT-4 en relación con diferentes dominios y tareas. Esto podría incluir una exploración más profunda de las características de las preguntas o las capacidades específicas del modelo.

6. CONCLUSIONES

Este estudio contribuye significativamente al campo emergente en la intersección de la gestión de proyectos y la inteligencia artificial, centrándose en las capacidades del modelo de lenguaje de OpenAI, GPT-4, en relación con la certificación Project Management Professional (PMP). Los resultados obtenidos ofrecen evidencia sólida de que GPT-4 tiene un alto rendimiento al responder a preguntas relacionadas con la certificación PMP, logrando una tasa de respuestas correctas impresionante en todos los dominios.

El modelo GPT-4 demostró un destacado rendimiento en todos los dominios. Estos resultados sugieren una comprensión profunda y versátil del modelo en aspectos que van desde la gestión de equipos y comunicación hasta la comprensión del entorno empresarial en proyectos.

Los resultados de este estudio no solo evidencian la competencia de GPT-4 en el ámbito de la gestión de proyectos, sino que también señalan áreas prometedoras para futuras investigaciones. Estas podrían abarcar la ampliación del rango y complejidad de las preguntas utilizadas en los experimentos, así como la comparación de GPT-4 con otros modelos de lenguaje para obtener una visión más holística de las capacidades de estas

tecnologías en el ámbito de la gestión de proyectos.

Un análisis más profundo de los factores que influyen en el rendimiento de GPT-4 en diferentes dominios y tareas podría proporcionar perspectivas valiosas sobre cómo el modelo procesa y responde a preguntas específicas en gestión de proyectos.

Este estudio subraya el potencial del modelo de lenguaje GPT-4 en la gestión de proyectos. Su capacidad para rendir a tan alto nivel en cuestiones relacionadas con la certificación PMP sugiere que estos modelos no solo pueden ser valiosos en la formación y capacitación de profesionales, sino también en la aplicación directa en la gestión de proyectos respaldada por inteligencia artificial.

7. REFERENCIAS

Boudreau, P. (2019). *Applying Artificial Intelligence to Project Management*. https://www.amazon.com/-/es/Paul-Boudreau-ebook/dp/B081G1HS74/

Boudreau, P. (2020). *How the Project Management Office Can Use Artificial Intelligence To Improve The Bottom Line*. https://www.amazon.com/-/es/Paul-Boudreau-ebook/dp/B086PXMF1C/

Boudreau, P. (2021). *The Self-Driving Project: Using Artificial Intelligence to Deliver Project Success*. https://www.amazon.com/Paul-Boudreau-ebook/dp/B09HST9X6R/

El Khatib, M., & Al Falasi, A. (2021). *Effects of artificial intelligence on decision making in project management*. American Journal of Industrial and Business Management, 11(3), 251-260.

Fridgeirsson, T. V., Ingason, H. T., Jonasson, H. I., & Jonsdottir, H. (2021). *An authoritative study on the near future effect of artificial intelligence on project management knowledge areas*. Sustainability, 13(4), 2345.

Gil, J., Martinez Torres, J., & González-Crespo, R. (2021). *The application of artificial intelligence in project management research: a review*. https://reunir.unir.net/bitstream/handle/123456789/12965/ijimai_6_6_6.pdf

Ong, S., & Uddin, S. (2020). *Data science and artificial intelligence in project management: the past, present and future*. The Journal of Modern Project Management, 7(4).

OpenAI. (2023a). *GPT-4*. https://openai.com/product/gpt-4

OpenAI. (2023b). *GPT-4 Technical Report*. https://arxiv.org/pdf/2303.08774.pdf

OpenAI. (2023c). *GPTs are GPTs: An Early Look at the Labor Market Impact Potential of Large Language Models*. https://arxiv.org/pdf/2303.10130.pdf

Phillips, J. (2022). *PMP Project Management Professional All-in-One Exam Guide*. McGraw-Hill Education.

Project Management Institute. (2019). *Project Management Professional (PMP) Examination Content Outline for January 2021 Exam Update*. Project Management Institute.

Project Management Institute. (2021). *El estándar para la gestión de proyectos y una guía para el cuerpo de conocimientos de gestión de proyectos (guía PMBOK) Séptima edición*. Project Management Institute.

Project Management Institute. (2023). *Project Management Professional (PMP)*. https://www.pmi.org/certifications/project-management-pmp

Taboada, I., Daneshpajouh, A., Toledo, N., & de Vass, T. (2023). *Artificial Intelligence Enabled Project Management: A Systematic Literature Review*. Applied Sciences, 13(8), 5014.

Entornos Virtuales de Aprendizaje usables basados en affordance

Digión, Leda[1];Sosa, Mabel[1]

(1) Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero. ldigion@unse.edu.ar; litasosa@unse.edu.ar

RESUMEN

Affordance refiere a la característica intrínseca que tienen los objetos de sugerirnos acciones. El término procede del campo del diseño interactivo y de la psicología perceptual, se integra en sistemas digitales y entornos tecnológicos con distintas finalidades. En particular en el campo de la educación, y más específicamente en la enseñanza, es relevante saber cuáles son las posibilidades de las affordances, los modos en que pueden ser utilizadas, fundamentadas desde teorías y metodologías de aprendizaje, para que sean mediadoras efectivas de las interacciones entre usuarios y tecnologías.
En este documento se presenta una aproximación sobre la integración de las affordances en los entornos virtuales de aprendizaje, como mediadoras de las interacciones de los estudiantes con estos entornos. En concreto, se establece las posibilidades que éstas tienen a partir de sus características o propiedades intrínsecas, y que pueden aportar a un entorno virtual de aprendizaje para potenciar su usabilidad, y favorecer las interacciones efectivas de los usuarios estudiantes. Se considera relevante el estudio de affordance como nueva tendencia que puede favorecer la mediación pedagógica, para contribuir al logro de aprendizajes significativos y construcción de conocimiento.

ABSTRACT

Affordance refers to the intrinsic characteristic that objects have of suggesting actions to us. The term comes from the field of interactive design and perceptual psychology, it is integrated into digital systems and technological environments for different purposes. Particularly in the field of education, and more specifically in teaching, it is important to know what are the possibilities of affordances, the ways in which they can be used, based on learning theories and methodologies, so that they are effective mediators of the interactions between users and technologies.
This document presents an approach to the integration of affordances in virtual learning environments, as mediators of student interactions with these environments. Specifically, the possibilities that affordance have based on their intrinsic characteristics or properties are established and that they can contribute to a virtual learning environment to enhance its usability, in favor to the effective interactions of student users. The study of affordance is considered relevant as a new actual trend that can promote pedagogical mediation, to contribute to the achievement of significant learning and knowledge construction.

Palabras claves: affordance- usabilidad- interacción- entornos virtuales.

Keywords: affordance- usability- interaction- virtual environments.

1. INTRODUCCIÓN

Affordance es un concepto que desde una perspectiva instrumental puede entenderse, como las formas de uso pensadas para un artefacto por su diseñador o creador, y las aportadas por quienes lo utilizan; ó, desde lo filosófico, como la materialización de una relación entre ambiente, sujeto y artefacto, según Parchoma (2014),citado en Leal-Urueña y Rojas-Mesa (2018).
El psicólogo James J. Gibson, experto en percepción visual, fue quien la acuñó en su libro "TheEcologicalApproachto Visual Perception" (1979), al presentar su Teoría de Affordance. Después, el experto en ciencia cognitiva Donald Norman, depuró y popularizó el término en el área del diseño de interfaces,

ensu libro “La Psicología de los objetos cotidianos”. Y años más tarde, incorporó el término al campo del diseño de interacción, refiriéndose a él como: "aquellas características perceptibles del objeto que confieren un aspecto intuitivo a la hora de saber cómo usarlo". Entonces, pensemos en una silla, aunque nunca nadie haya visto una silla, su forma y construcción hace que quien la vea, sepa que puede servir para sentarse en ella, es como si la silla “invitara” a que se sentaran en ella (Zapata-Ros, 2014).

No existe una traducción única al castellano de la palabra affordance. El verbo afford existe en el diccionario, pero no el sustantivo affordance. Su traducción literal al castellano admite muchas variantes. Desde “posibilidades” hasta “comprensión intuitiva”, “potencialidades” o “invitaciones de uso”. Entonces, affordance son las posibilidades de acción o de usos que una persona percibe de forma intuitiva,a partir del diseño de un sistema u objeto cualquiera. Es lo que el diseño de algo sugiere como posibilidades, a partir de las pistas visuales o del significado que da. Es la respuesta que damos de manera espontánea ante un sistema u objeto nuevo a preguntas como: ¿qué puedo hacer con ésto, para qué sirve,hasta dónde puedo llegar? Conviene añadir que affordance no solo sugieren usos o funciones, sino también restricciones (*constraints*), o “qué no podemos hacer” (Rey, s.f.).

Gibson (1979) citado enZapata Ros (2014),define affordance como "una posibilidad de acción disponible en el entorno de una persona, independientemente de la capacidad del individuo para percibir esta posibilidad".

En el área Interacciónhumanocomputadora, la colocación de objetos en dispositivos, deben tener reglas que permitan a los usuarios interactuar sin confusiones cognitivas y de una manera intuitiva. Por ejemplo, un *botón* debe estar diseñado en una pantalla de interacción con la computadora, de manera que no deje dudas al usuario de lo que tiene que hacer; por ello se usa el término affordance, para indicar la propiedad de los objetos de interacción, de “invitar” al usuario a que accione sobre él.

Donald Norman afirma: “affordance es la relación entre las propiedades de un objeto y las capacidades de un agente que determinan las posibilidades de como ese objeto podría ser utilizado”,citado en Nonantzin Martínez(2018). Esta relación asociada a la percepción es la capacidad de un comportamiento determinado incitado por una serie de estímulos. El affordance implica hacer evidente parte del objeto de diseño sobre el cual realizaremos una acción específica. Significa poder tener una cierta capacidad de acción. Affordance entendida como relación con los objetos está directamente relacionada con la capacidad para realizar una acción sobre un objeto; sin embargo, se puede pensar a esta relación también desde la manera en que los individuos significan sus experiencias. El objeto de diseño comunica lo que se puede hacer o no con éste, y es comprendido e interpretado de acuerdo con la experiencia de vida de cada persona en particular; es decir, desde una relación subjetiva que vamos creando con los objetos a través de la intuición.

En el campo educativo, el término affordance adquiere un significado que se relaciona con “la respuesta a la búsqueda de expresar las propiedades de un entorno que, al interactuar con un usuario, mejora el potencial de aprendizaje” (Zapata Ros, 2014).

Luego, surgen interrogantes con respecto a cuál sería la implicancia delaffordance en los escenarios educativos tecnológicos actuales. En especial, en los entornos virtuales de aprendizaje (EVA), que han adquirido notable relevancia por su uso y aplicación en la educación a distancia, como estrategia de aprendizaje basada en el uso de los recursos, materiales, objetos de aprendizajes, REA (recursos educativos abiertos) y las actividades, desde una perspectiva colaborativa y cooperativa, para laadquisición de habilidades, capacidades y conocimientos en los estudiantes.

En base a lo mencionado, seplantea la siguiente hipótesis de trabajo: Los affordances pueden contribuir a mejorar el proceso de aprendizaje de los estudiantes, durantesu interacción con el entorno virtual de aprendizaje.

Así, se busca comprender como incide la affordance en los procesos de aprendizaje,mediados a través de las interaccionesque suceden entre el estudiante y el entorno virtual de aprendizaje. De este modo, se espera realizar una contribución al aprendizaje significativo del estudiante, y a la

usabilidad del entorno virtual, a través del diseño intuitivo de interfaz.

2. AFFORDANCE

Desde su aparición, el concepto de affordance ha evolucionado. Para Pfaffenberger (1992), los affordances son de naturaleza múltiple, dado que diferentes percepciones conducen a diferentes usos y, por lo tanto, las prácticas sociales, las propiedades de los objetos y las características de los ambientes determinan los affordances tecnológicos.

Por su parte, Pea (1993) redefine los affordances "como objetos que enlazan la percepción y la acción" (p. 51). Más tarde, Schmidt (2007) conceptualiza los affordances como andamiajes sociales para la construcción de significado. Para Maier y Fadel (2008), el concepto de affordance es el resultado de la interacción entre seres humanos, artefactos y ambiente (citados por Rojas y Leal, 2017).

Norman citado en Zapata-Ros (2014),señala que los affordances dan indicios de cómo realizar una acción sobre un objeto. En el caso de una plataforma digital, un diseño de interfaz bien realizado entregará indicios de cómo navegar de manera fluida, sin complicaciones técnicas; ni la necesidad de leer instrucciones tediosas en un manual,como ejemplos. Tampoco se tendrá que analizar cómo están distribuidos y relacionados los iconos, botones, textos, videos e imágenes en una determinada interfaz. En otras palabras, se esperaría que los affordances vuelvan exitosa la experiencia de navegar por la plataforma.

En el diseño de sistemas interactivos, el affordance es la capacidad de poder interactuar de manera intuitiva sobre una interfaz. La intuición es un concepto clave, que no ha sido desarrollado lo suficiente como un método para comprender los procesos de diseño. La intuición no sólo puede ser entendida como una manera de interactuar con los objetos cotidianos, sino como una manera de conocer a través de la subjetividad que constituye a su vez al sujeto que actúa (Nonantzin Martínez, 2018).

2.1 *Tipos de affordance*

Desde una perspectiva pragmática, resulta útil diferenciar los tipos de affordances: cognitiva, física, perceptual y funcional, identifica Hartson(2003) citado en Caballero Quiroz y Mercado González (2018).

- Cognitiva: es una característica de un diseño que ayuda, apoya o facilita pensar o conocer algo acerca de algo.
- Física: es aquella característica de un diseño que ayuda, apoya o facilita o permite la interacción física para desempeñar o hacer algo.
- Funcional: es aquella que ayuda y da soporte al desempeño de alguna actividad.
- Perceptual: es aquella característica de un diseño que ayuda, apoya, facilita o posibilita que el usuario reciba información por medio de alguno de los sentidos.

En esta taxonomía, las affordances cognitivas equivalen a las que Norman considera affordances percibidas. En el área del "Diseño Centrado en el Usuario", Norman, lo sitúa en el núcleo del proceso de diseño de la interfaz, siendo este el cambio epistemológico al que asiste el diseño, según Mosqueda Gómez, citado en Caballero Quiroz y Mercado González (2018). Así, las reconfiguraciones de los procesos de diseño atenderán fundamentalmente a las emociones, procesos y aspectos cognitivos del usuario: affordance cognitivo. No se pueden generar experiencias, emociones, sentimientos, conductas o sensibilidades sin tener en cuenta los modos en que siente, percibe y conoce el usuario, porque de este modo se optimiza la usabilidad e interacción de éste con los objetos.

Lopez-Silva (2020), habla sobre la relación entre tipologías de affordance, propone un desafío comprensivo sobre ello, y referencia a los siguientes autores.

Proust (2016) refiere al concepto *affordance-sensing* como una evaluación no consciente de la posibilidad de realizar una tarea propuesta por el ambiente de forma exitosa. Este tipo de affordance buscaría predecir beneficios o riesgos en base a señales percibidas desde el ambiente, contrastadas con las capacidades cognitivas y físicas del sujeto. Menciona que las *affordance-sensings* pueden ser impulsivas (desencadenada por sentimientos), o habituales (desencadenada por oportunidades detectadas de forma innata o aprendida). En ambos casos, una *affordance-sensing*está orientada a una acción inmediata y no generaría inferencias

respecto a las consecuencias de las potenciales acciones a largo plazo.

Para Proust (2016), las *affordance-sensings* proporcionan una estructura de representación adecuada para que una señal se produzca con fluidez y se entienda como un disparador de acción, de esta forma, se complementa la de Gibson, las *affordance-sensings* serían más primitivas que las representaciones puramente descriptivas, serían una condición para estas (p. 185).

Dentro de esta formulación de la noción de affordance, Proust (2016) propone tres categorías:

i. Affordances sociales (social affordances), entendidas como aquellas que sirven para que los infantes logren compartir emociones con sus cuidadores;
ii. Affordancescomunicacionales *(communicationaffordances)*, que servirían para la elección eficiente de los términos precisos para transmitir información, y;
iii. Affordances epistémicas *(epistemicaffordances),* que servirían para recibir información desde el ambiente. Esta última también es llamada affordance cognitiva, y podría ser de vital importancia en el proceso del desarrollo de un protolenguaje.

Sea cual sea el caso, la visión de Proust en su definición del concepto parece ser evaluativa; es decir, las affordances son evaluaciones inconscientes de la autoeficacia de un organismo respecto de una tarea que el ambiente demanda.

Por su parte, Scarantino (2003) propone otra taxonomía para categorizarlas. Las affordances dirigidas a objetivos *(goal-affordances)* son aquellas que se constituyen como una acción *(doing),* y las affordance eventuales *(happening affordance)*se presentan simplemente como otras posibilidades de acción cuando ya se está realizando una acción fundamental. Scarantino (2003) también distingue entre affordances infalibles (que ocurren el 100% de las veces que aparecen en la percepción de un sujeto) y affordance probabilísticas, las cuáles poseen menos probabilidades de ser actualizadas en la acción esperada. Así mismo, para este autor, el valor del concepto no surge de su capacidad de evaluar la autoeficacia, es más, las affordances no juegan tal rol, sino que guían la acción a partir de la percepción consciente de oportunidades en el ambiente. Si bien Scarantino pone el énfasis en cómo una affordance es constitutiva de una acción, este enfoque parece ser complementario con el de Proust, quien lograría explicar cómo ocurriría esto.

Ahora bien, Rietveld y Kiverstein (2014) se refieren al concepto de affordances socioculturales, definidas como potenciales acciones que necesariamente incluyen componentes exploratorios, mediacionales y cooperativos alojados en un contexto cultural. La idea es que la cultura provee el espacio y el lugar para que la percepción de ciertas oportunidades en el ambiente sea siquiera inteligible.

Finalmente, Gendler (2008) propone reemplazar el término affordance por el de *Alief,* entendido como un estado cognitivo caracterizado por la generación de una propensión innata o habitual para responder a un estímulo, teniendo en cuenta una alternativa para comprender las reacciones que se rigen por mecanismos automáticos. Si bien la propuesta ha sido explorada durante los últimos años, se aleja del concepto original de affordance (Lopez-Silva, 2020).

2.2 *Affordance educativa*

En el ámbito educativo, el concepto de affordance es atractivo porque enfatiza perspectivas personalizadas y un papel activo de los estudiantes en el aprendizaje asistido por tecnología. En este sentido, un artefacto tecnológico implica un potencial de acción que estará disponible cuando el estudiante y el artefacto se conectan, y la disponibilidad y realización de este potencial es relativa a las interacciones con el artefacto y con el contexto sociocultural en el que ocurre, definieron Overdijk, Van Diggelen, Kirschner y Baker (2012),citados en Leal-Urueña y Rojas-Mesa (2018).

Estos autores plantean la necesidad de asumir un enfoque integrador de la tecnología, la pedagogía y los conocimientos disciplinares, así como la importancia de integrar diferentes affordances, provenientes del uso de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (TICs), con el propósito de fortalecer la efectividad, innovación y

pertinencia del proceso de enseñanza y de aprendizaje.
Así, el términoaffordanceeducativa, ha adquirido un significado que se relaciona con "la respuesta a la búsqueda de expresar las propiedades de un entorno que, al interactuar con un usuario, mejora el potencial de aprendizaje". En palabras de Kirschner (2002, p.14),citado en Zapata-Ros (2014):"Affordanceseducativas son las características de un artefacto (por ejemplo, cómo se implementa un paradigma educativodeterminado), que determinan si una modalidad particular de aprendizajepodría ser asumida en un contexto determinado (por ejemplo, trabajar un proyecto en equipo, establecer una comunidad de aprendizaje distribuido) y cómo se produce.
Una affordance educativa puede definir [...] como las relaciones entre las propiedades de una intervención educativa y las características de los alumnos permiten que se produzcan determinados tipos de aprendizaje en ellos".

2.3 *Affordancedesde la perspectiva interacción humano computador*

Desde el punto de vista de las interacciones entre usuarios, Puente-Bienvenido, Fernández-Ruiz, y Ruiz-Torres (2022), mencionan la affordance de realización de actividades compartidas (MacCallum y Jamieson, 2017), entre las que se encontraría la exploración colaborativa (Bacca et al., 2014), que posibilitaría la socialización entre los usuarios que interactúan en dinámicas digitalmente mediadas. También en relación con lo participativo, Gjøsæter (2014) ha señalado affordances relacionadas con el aprendizaje y el mantenimiento.
Los autores también referencian a Kaptelinin y Nardi (2012), quienes consideran que las affordances siempre son subjetivas y contextuales, señalan que desde el campo de la interacción humano computador se ha tratado de redefinir la noción de affordances para incluir aspectos sociales y culturales de la interacción humana en el mundo.
Lasaffordances de tipo social o emergente, entendidas como las posibilitaciones de participación colectiva en el medio y espacio de interacción (Puente-Bienvenido, Fernández-Ruiz, y Ruiz-Torres, 2022), consisten en todas aquellas affordances orientadas a fomentar o favorecer la interacción social grupal o comunitaria. Socializar colectivamente mientras se trabaja en comunidad, cocrear y reapropiarse de los espacios colaborativamente o dotarlos de contenido, llevar a cabo acciones de gestión grupal de los recursos (intercambiando, ayudando…), serían solo algunos ejemplos que permiten compartir un mismo espacio. Se habla de una actividad cocreativa (Sanders y Stappers, 2008), entre usuarios, colectiva, y que puedan surgir nuevas posibilitaciones de interacción provenientes de los consensos y contextos socioculturales de la comunidad; estas son, affordances de emergencia cultural (Sequeiros y Puente, 2020) o de interacción social (citados por Puente-Bienvenido, Fernández-Ruiz, y Ruiz-Torres, 2022).

3 PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE AFFORDANCE EN ENTORNOS VIRTUALESDE APRENDIZAJE

En el campo del diseño, se puede concebir al affordance como un hecho cultural, donde el participante lo percibe de acuerdo con un conjunto de habilidades cognitivas que le vuelven factible la comprensión de aquello con lo que está entrando en contacto.
Asumido de esta forma, se modifica la manera en la que éste es concebido, no a partir de condiciones generales que no cambian, sino de locontingente, de aspectos específicos que determinan elcurso que tendrá la relación entre objeto y sujeto, declara Nonantzin Martínez, (2018).
En la definición original de Gibson, se enunciaba las posibilidades que el entorno ofrece al individuo, independientemente de su capacidad de percibirlas, podríamos pensar, sin embargo, de acuerdo con Norman, en la manera en que el individuo reacciona frente al entorno, haciendo posible la operación de affordance. Esta diferencia es la que nos interesa enfatizar: frente a una postura que privilegia el objeto y otra que centra su interés en el sujeto, es en la relación entre ambos que podemos establecer un punto de mediación.Además de plantear una noción que ayude a reconfigurar la manera en que entendemos el diseño, no a partir de la producción de objetos e imágenes, sino a partir

de la construcción de relaciones, en la preocupación acerca de la manera en que los individuos utilizan y se relacionan con los objetos e imágenes (en Octavio Mercado González, 2018, citado en Caballero Quiroz y Mercado González, 2018).

Así, el diseñador ve materializada esta posibilidad, en el diseño de la interacción del sujeto con el objeto como una acción mediada por el entorno. Se buscaba evitar la simplificación esquemática del affordance como algo que residía en el sujeto o en el objeto, ni es una propiedad de los objetos, no es algo que simplemente está ahí, tampoco es alguna clase de capacidad innata de los individuos, sino que es un vínculo que se activa en la relación entre sujeto y objeto y que hace posible la interacción.

Bajo este supuesto, el diseño, resuelve además otra de sus tensiones: ya no se trataría de conciliar únicamente forma y función, o expresividad y utilidad, sino de pensar en el diseño más allá de las condiciones formales del objeto, desde el plano en el que ocurren las relaciones con y entre las personas, que no es otro que el de la cultura (en Octavio Mercado González, 2018, citado en Caballero Quiroz y Mercado González, 2018).

3.1 *Aspectos de affordanceen EVA*

Asumiendo la importancia del affordance para el diseño y definiendo el campo de acción del diseñador en las relaciones entre objetos y sujetos, el trabajo del diseñador no solo está en la prefiguración de la forma, ni en la planeación de las formas de producción o implementación de las soluciones de diseño, sino en la proposición de marcos para la interacción, que puedan contener en su interior posibilidades que serán llevadas a cabo (o no), por los usuarios, según Nonantzin Martínez (2018).

Estos marcos comprenderían las relaciones de interacción en tres líneas principales:

a. Entre sujetos, entendiendo la forma en que el objeto de diseño intervendrá en la relación entre los usuarios, modificando su forma de relación. La noción de red social es, posiblemente, una de las formas en que esto es más visible, donde tiene lugar un cambio en la forma como nos conectamos y compartimos información con otros.
b. Entre sujetos y objetos, en el sentido más tradicional del diseño, al que hemos hecho referencia a lo largo del texto y que requiere la consideración del entorno como un componente fundamental.
c. Entre los propios objetos, a partir de una suerte de ecosistema de objetos diseñados que interactúan entre sí, reaccionando unos frente a otros; la noción del dispositivo inteligente, que es capaz de incorporarnueva información y a partir de ello generar cambios, es un ejemplo de esta última línea.

Se trata de las condiciones actuales, marcadas por las nuevas tecnologías, donde la tarea del diseñador ya no es, en muchos casos, la de resolver los aspectos formales de los objetos de diseño, sino proponer posibilidades de utilización.Es decir, la apariencia final de las imágenes estará condicionada por el entorno tecnológico, por las características del dispositivo de visualización, su posibilidad de despliegue, la velocidad de transferencia de archivos, la forma de manipulación por parte del usuario, una muy rápida obsolescencia de las tecnologías utilizadas y un sinnúmero de variables que están totalmente fuera del alcance del diseñador (NonanantzinMartinez, 2018).

El autor Bedolla Pereda, citado en Caballero Quiroz y Mercado González (2018), referencia a los siete aspectos en los que Fulton (2005) clasifica a la colección de imágenes de su texto de investigación, presentando distintas maneras concretas de manifestarse un affordance, a partir del objetivo o necesidad humana momentánea.

En este trabajo, se toma en cuentala descripción de cada forma de affordance, y se las asociacon las características, operatividad y potencial de los EVA, como espacios de aprendizaje significativos para el estudiante. Ellos son:

- Reaccionando*(reacting*): interaccionamos automáticamente con objetos y espacios que encontramos. Como lo señala Gibson (1979), los objetos van a permitir una variedad de comportamientos de acuerdo a su naturaleza, y reaccionamos a ellos dependiendo de la necesidad o de la actividad que tengamos y desempeñemos en ese instante. En esta forma de representación, losentornos virtuales, pueden ofrecer actividades o desafíos interactivos que requieren que los estudiantes

reaccionen a través de la toma de decisiones rápidas, resolución de problemas o participación en actividades prácticas. En este caso, podrían presentarse situaciones de aprendizaje que requieran una respuesta inmediata o que generen una reacción emocional,por ejemplo, en una actividad de evaluación mediada por reglas, o temporizada.

- Respondiendo*(responding)*: son acciones de respuesta que también llevamos a cabo con base en nuestra necesidad u objetivo, y al mismo tiempo, con base en la percepción de aquellas cualidades y características que distingue congruentes con otras.

Por ejemplo, en un entorno virtual de aprendizaje se proporcionan oportunidades para que los estudiantes respondan a través de diversas formas de participación. Esto puede incluir la participación en discusiones en línea, la respuesta a preguntas o ejercicios, la presentación de trabajos o la participación en evaluaciones formativas y sumativas.

- Optando, escogiendo *(co-opting):*se hace uso de oportunidades presentes en un contexto o ambiente inmediato, dado que sus características indican su utilidad momentánea que responde a una necesidad u objetivo circunstancial.Los entornos virtuales de aprendizaje pueden ofrecer opciones y alternativas para que los estudiantes elijan cómo abordar su aprendizaje. Por ejemplo, pueden permitir a los estudiantes seleccionar entre diferentes recursos de aprendizaje, actividades opcionales o materiales de apoyo adicionales, según sus intereses o necesidades individuales.
- Sacando ventaja*(exploiting*): sacamos ventaja de cualidades físicas y mecánicas que comprendemos nos ayuda a cumplir nuestro objetivo.

Losentornos virtuales ofrecen una amplia gama de recursos y materiales que los estudiantes pueden aprovechar y explorar en su proceso de aprendizaje. Esto implica utilizar los recursos disponibles de manera efectiva para adquirir conocimientos, investigar, investigar, analizar y sintetizar la información.

- Adaptando*(adapting)*:alteramos el propósito o contexto que percibimosde las cosas para alcanzar nuestros objetivos. Los objetos nos van a permitir en un momento dado una variedad de comportamientos de acuerdo a su naturaleza, y con ello cubrir nuestras necesidades en ese momento.

Un entorno virtual de aprendizaje podríapermitir a los estudiantes adaptar la configuración y personalizar la experiencia de aprendizaje según sus necesidades individuales. Esto puede incluir ajustes en la interfaz, configuración de preferencias de navegación, selección de herramientas de apoyo y adaptación del contenido según su nivel de habilidad o interés.

- Correspondiendo*(conforming*): aprendemos patrones de comportamientos de otros en nuestro grupo social y cultural.

Los entornos virtuales pueden facilitar la comunicación y colaboración entre estudiantes y con los instructores, brindando oportunidades para que los estudiantes interactúen y se relacionen entre sí. Esto puede incluir la participación en foros de discusión, comentarios en línea, trabajo en grupo virtual y retroalimentación entre pares.

- Señalizando *(signaling*): enviamos mensajes de nosotros mismos a otras personas: un ejemplo de ello sería el buscar personalizar con pequeñas fotografías un teléfono celular. Este ejemplo representa la existencia de affordancessociales entre las personas, los cuales son resultado de la comprensión de cada individuo sobre la totalidad de los significados sociales para un ser humano: ponemos la mayor atención a la información visual y auditiva que especifica lo que otra persona es, invita, hace o actúa.

Los entornos virtuales de aprendizaje pueden incorporar estas diferentes maneras de affordance para brindar a los estudiantes una experiencia de aprendizaje interactiva, participativa y personalizada. Al ofrecer opciones, permitir la interacción y adaptación, y proporcionar recursos diversos, los entornosvirtuales pueden promover un aprendizaje activo y significativo.

Se trata, de acuerdo con Gibson(1979) citado en Yepes-Reyes (2018), de ejemplos de affordances resultados de la existencia de la interacción social que permiten un rico y complejo tipo de relaciones entre los individuos, entre ellas las de comunicación entre personas para brindar soluciones a necesidades comunes momentáneas.

La Fig. 1, representa una síntesis de las características de affordance, que debería

reunir una interfaz de entorno virtual de aprendizaje.

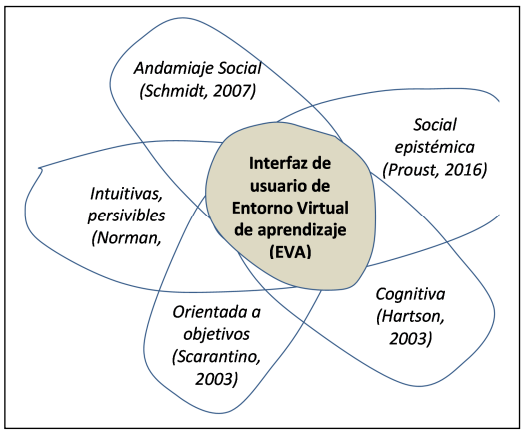


Figura 1: Síntesis de propiedades y características de una interfaz EVA, basada en affordance.
Fuente: Elaboración propia.

3.2 *Affordanceparamejorar la usabilidad de losEVA.*

Los entornos virtuales de aprendizaje son plataformas digitales diseñadas para facilitar y mejorar el proceso de enseñanza y aprendizaje a través de recursos y herramientas interactivas.Vargas (2021)citado en Tigua y Bracho (2023),indica que las principales características con las que cuentan los entornos virtuales de aprendizaje, se encuentran establecidas por:

- Interactividad. Es la capacidad del receptor para controlar un mensaje no lineal hasta el grado establecido por el emisor, dentro de los límites del medio de comunicación asincrónico.
- Flexibilidad. Cuando un sistema de gestión de aprendizaje ofrece flexibilidad, la plataforma no se mantiene rígida a los planes de estudio, sino que puede adaptarse tanto a la pedagogía como a los contenidos adoptados por una organización.
- Escalabilidad.Se refiere a la propiedad de aumentar la capacidad de trabajo de un sistema, sin comprometer por ello su funcionamiento y calidad habituales. Es decir, poder crecer sin perder la calidad de sus servicios.
- Estandarización. En estándar es un método aceptado, establecido y seguido normalmente para efectuar una actividad o función, para lo cual se deben de cumplir ciertas reglas con el finde obtener los resultados aprobados para la actividad o función.
- Usabilidad. Se refiere a la rapidez y facilidad con que las personas realizan tareas propias mediante el uso de un producto y se logran objetivos específicos con efectividad, eficiencia y satisfacción.
- Funcionabilidad. Las funciones que cumple un objeto son fijadas por las necesidades que se desea que el objeto satisfaga. Un objeto es funcional si cumple las funciones que le fueron asignadas.
- Ubicuidad. La ubicuidad en un sistema de gestión de aprendizaje es la capacidad de una plataforma de hacerle sentir al usuario omnipresente: le transmite la seguridad de que en ella encontrará todo lo que necesita. La tecnología nos permite estar presentes en diferentes lugares al mismo tiempo.
- Persuabilidad.Es una palabra compuesta por dos términos (persuasión y usabilidad) e implica la integración y articulación de cuatro características (funcionalidad, usabilidad, ubicuidad e interactividad).
- Accesibilidad. La accesibilidad se refiere a los medios que permiten a personas con otras capacidades a acceder a la información on line, la información es accesible cuando se logra el nivel más alto de utilización.

Cada una de las características mencionadas, indican los objetivos que cumplen los entornos virtuales.

Mientras que, Maldonado et al. (2020)citado en Pibaque Tigua y Larreal Bracho (2023), indica que las características de los entornos virtuales, se orientan en dos categorías que son:

- Características de las dinámicas acontecidas en el uso de entorno virtual: se identifican con la colaboración, interactividad, flexibilidad, estandarización yescalabilidad,

adicionalmente se encuentran la funcionabilidad, la usabilidad, ubicuidad, la accesibilidad, la comunicación, el autoaprendizaje e interconexión.

- Características de los componentes de los entornos virtuales: estos están conformados por los materiales multimedia empleados, el acceso al correo electrónico, evaluaciones, los foros, los chats, los cuestionarios y las simulaciones.

Se aspira a contribuir al aprendizaje significativo del estudiante, a partir de estas características dinámicas del EVA y potencialidades tecnológicas, y teniendo en cuenta distintas formas de manifestarse laaffordance,durante la interacción entre el usuario estudiante y el entorno virtual de aprendizaje

Se propone como una primera aproximación,los principales aspectos estructurales, funcionales, y de organización de los EVA,relacionados conlos elementos de affordance quepodrían incidir favorablemente en las interaccionesque el estudiante realiza en el EVA mientras trabaja y aprende.

En la Fig.2 se representan las relaciones de loscomponentes principales encontrados en los Eva y su correspondencia con las características de las affordance.

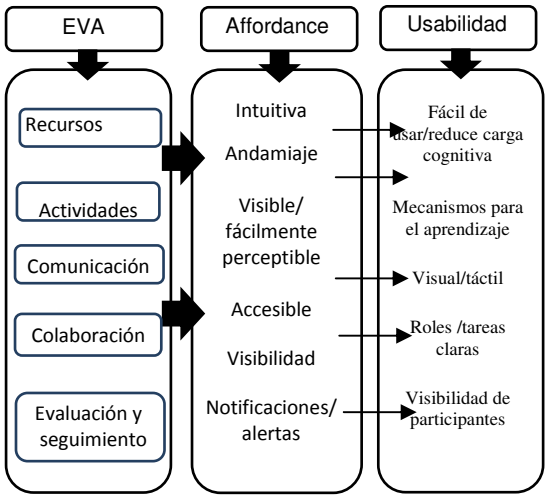


Figura 2**:**Aspectos estructurales de un EVA y características de affordance.
Fuente: elaboración propia.

Comose menciona anteriormente, en el contexto educativo, el concepto de affordance educativa se centra en cómo los entornos y recursos educativos pueden influir en las acciones y experiencias de los estudiantes, así como en su proceso de aprendizaje. Estas affordances educativas pueden ser visibles o explícitas, como los botones y enlaces que "invitan" a los estudiantes a realizar una determinada acción, o pueden ser más sutiles e implícitas, como el diseño del entorno que fomenta la colaboración y la interacción entre los estudiantes (Zapata-Ros, 2014).

Atendiendo a la conceptualización de los autores sobre affordance educativa, en Digión (2022)se propusieron pautas operativas a tener en cuenta en el diseño del entorno personal de aprendizaje (o de un curso, o una aplicación informática de interés), como contribución a la práctica del estudiante y considerando el diseño inicial de la interfaz.

Tomando este trabajo como base, se hace una ampliación conceptual y se establecenlos aspectos de affordance,que deben ser considerados para garantizar un diseño efectivo de los entornos virtuales de aprendizaje con características de usabilidad, con lo cualfavorecería el logro de experiencias de aprendizaje enriquecedoras, participativas y adaptables para los estudiantes, a saber:

- Una interfaz de usuario intuitiva y fácil de usar, implica que los elementos de navegación estén claramente identificados. Los estudiantes deben poder interactuar de manera fluida y comprender cómo acceder a diferentes recursos y herramientas.
- El entorno virtual debe proporcionar retroalimentación clara y útil a los estudiantes sobre su progreso y desempeño. Esto puede incluir retroalimentación inmediata en las actividades y evaluaciones, así como comentarios y sugerencias para mejorar.
- Se debe facilitar la comunicación y colaboración entre los estudiantes y con los instructores. Debe proporcionar herramientas de interacción en tiempo real que fomenten la participación activa y la colaboración entre los estudiantes.
- Acceso a recursos y materialesdebe proporcionar acceso fácil y rápido a una amplia gama de recursos y materiales de aprendizaje. Deben estar organizados de

manera clara y estructurada para facilitar la búsqueda y recuperación de información.

- Accesibilidad del entorno virtual debe ser accesible para todos los estudiantes, incluidos aquellos con discapacidades o necesidades especiales. Debe cumplir con las pautas de accesibilidad web, como proporcionar opciones de contraste, compatibilidad con lectores de pantalla y teclado, y estructura clara de la información.

Por otra parte, en la Fig. 2, se representan algunas formas en las que la affordancecontribuye a la usabilidad de la interfaz de usuario, como:

-Comunicación intuitiva: permite que los usuarios comprendan intuitivamente cómo utilizar los elementos de la interfaz y qué acciones son posibles. Al proporcionar señales visuales o interactivas claras, los usuarios pueden identificar fácilmente las funcionalidades y las formas de interactuar.

-Reducción de la carga cognitiva: al comunicar claramente las acciones y las interacciones posibles, la affordance ayuda a reducir la carga cognitiva del usuario. Los usuarios no tienen que realizar un esfuerzo adicional para descifrar cómo utilizar la interfaz, lo que facilita su uso y agiliza la realización de tareas.

- Mayor eficiencia: La affordance permite a los usuarios interactuar rápidamente con la interfaz sin tener que experimentar o adivinar cómo realizar acciones específicas. Esto mejora la eficiencia en la realización de tareas y reduce el tiempo necesario para completarlas.

- Menor posibilidad de errores: Cuando la affordance es clara, los usuarios son menos propensos a cometer errores al utilizar la interfaz. La comunicación visual efectiva ayuda a los usuarios a comprender cómo realizar acciones sin confusión o malinterpretación, lo que reduce la probabilidad de errores.

-Aprendizaje más rápido: Las affordances bien diseñadas facilitan el aprendizaje y la familiarización con la interfaz. Los usuarios pueden experimentar rápidamente y descubrir las funcionalidades sin necesidad de una formación extensa, lo que acelera el proceso de aprendizaje y promueve la adopción de la interfaz.

En general, la affordance desempeña un papel importante en la usabilidad de la interfaz de usuario al comunicar de manera clara y efectiva cómo interactuar con los elementos de la interfaz. Lo cual mejoraría la experiencia del usuario, facilitaría la realización de tareas y reduciría la posibilidad de errores.

3.3 *Consideraciones finales*

Es relevante subrayar que el tema de affordance es complejo. Aquí se han reflexionado de manera inicial, solamente algunos aspectos derivados de dicha complejidad, y se retoman otros más relevantes a continuación:

a) La definición de affordance, que es ampliamente conocida en el ámbito del Diseño, fue generada por Donald Norman (1988); y difiere de la original dada por Gibson (1979) en su texto. Por lo cual no considerar paralelamente la descripción de affordance dada por este último autor, limita el conocimiento del término y la visualización clara de su utilidad en el quehacer del diseño; ello indica la necesidad de ampliar los horizontes multidisciplinarios actuales de la disciplina y considerar el texto de Gibsonnacido dentro de la psicología.

b) Existe desconocimiento sobre cómo laaffordancese relacionao se refleja en el comportamiento humano, en especial en cuanto a la interacción con los objetos de un entorno digital/virtual.

c) La amplitud del término affordance, dado por Gibson, es capaz de llevarnos a comprender que difícilmente un proyectista, un diseñador, podría prever todas las affordances de un elemento como en este caso lo es un objeto, ya que éstas podrían ser, en unmomento dado, tan numerosas y diversas como individuos existen. Sin embargo esta imprevisibilidad no se considera que represente un elemento negativo para nuestro quehacer, sino que abre posibilidades nuevas para la reflexión y la creatividad del diseñador.

d) Sobre la interfaz digital, según Norman (en Boscarol 2004, citado por Caballero Quiroz y Mercado González, 2018), son las affordances percibidas las importantes a considerar.

Sin embargo, la mayoría de las veces éstas no coinciden para nada con las convenciones, ya que por ejemplo un "*clic"* no tiene el affordance de la "clicabilidad" naturalmente, sino que se trata más biende un acuerdo cultural para hacer saber a los usuarios que

aquel enlace puede ser oprimido para obtener un cierto resultado.En realidad, el affordance del "*clic*" según Norman, pertenece a cada pixel sobre la pantalla (de hecho, es posible dar un "*clic*" con la tecla derecha en cada punto de la página web para obtener por ejemplo la visualización del código), pero se puede también dar un "*clic*" con la tecla izquierda sin obtener resultados;entonces, el "*clic*" de cualquier manera es posible.

4 CONCLUSIÓN

El concepto de affordancese refiere a formas y procesos en que la mente humana ejecuta su interacción con el medio ambiente.En estetrabajo, se interpreta que el concepto no es único. Por ello, se ha intentado analizar el concepto, yreferenciar a las interpretaciones del mismo para el aporte de lineamientos en el diseño de la interfaz en base a affordance;de este modo, poder mejorar la interacción del estudiante enun entorno virtual de aprendizaje, y contribuir a sus procesos cognitivos en el logro de mayor aprendizaje significativo, también en articulación con las potencialidades tecnológicas del mismo.

Es un trabajo inicial desde donde se abren distintos interrogantes: ¿Cómo deberían representarse las affordances para potenciar las prácticas comunicativas y de colaboración en los EVA? ¿Son recursos pertinentes para la mediación de procesos sociales y culturales en la virtualidad? ¿Los entornos virtuales basadas enaffordance, favorecen la construcción de aprendizajes y conocimiento a través de la innovación permanente?

Se considera que es necesario como futuro trabajo, diseñar estudios experimentales para comprobarsi las distintas variables de affordance o sus formas de representación,inciden en los componentes de los entornos virtuales de aprendizajes y contribuyen con su usabilidad, favoreciendo las interacciones entre el estudiante y el entorno.

Finalmente, la construcción de referentes teóricos, conceptuales y metodológicos puede conducirnos a una mejor comprensión de las posibilidades y bondades de los sistemas educativos digitalesbasados en affordance, especialmente como innovación pedagógicay no solo tecnológica.

5 REFERENCIAS

Caballero Quiroz, H. J. y Mercado González, O. (2018). Affordance y diseño (Libro). Ciudad de México: UAM, Unidad Cuajimalpa, División de Ciencias de la Comunicación y Diseño. 159 p. ISBN: 978-607-28-1570-4

Digión, L. (2022). Estudio de Affordance mediado por tecnología: contribución a la práctica educativa del Estudiante. IV Jornadas de Educación a Distancia en el Nivel Superior. Área de Educación a Distancia, Facultad de Ciencias de la Educación, Univ. Nac. de Entre Ríos. Paraná, Entre Ríos.

Leal-Urueña, L. y Rojas-Mesa, J. (2018). Ecología para la formación inicial de profesores a partir de los affordances de las TIC. Tecné, Episteme y Didaxis: ted, 44, 15-31.

López-Silva, P. (2020). Organismo y acción situada: mapeando el concepto de affordance. Avances en Psicología Latinoamericana, 38(1), 1-15. https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/apl/a.7475

Nonantzin Martínez Bautista (2018) Capitulo: "Breve reflexión sobre la intuición en las affordances: la relación con los objetos de la vida cotidiana dada a través de la intuición como un conocer subjetivo en el diseño de interfaces interactivas" en Libro "Affordance y diseño" Aarón José Caballero Quiroz y Octavio Mercado González. UAM, Unidad Cuajimalpa, División de Ciencias de la Comunicación y Diseño, Ciudad de México.

Pibaque Tigua, D. D. y Larreal Bracho, A. J. (2023). Entornos virtuales de aprendizaje: una mirada teóricahacia el aprendizaje. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 7(1), 9262-9278.
https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.5048

Puente-Bienvenido, H., Fernández-Ruiz, M. y Ruiz-Torres, D. (2022). Affordances de interacción, emergencia y socialidad en videojuegoscon realidad aumentada móvil. Hipertext.net, (25), 123-136. https://doi.org/10.31009/hipertext.net.2022.i25.12

Rey, A. (s.f.) Si quieres diseñar bien, aprende a gestionar los affordances. Post Nº 641. https://www.amaliorey.com/2020/08/19/si-quieres-disenar-bien-aprende-a-gestionar-los-affordance/

Rojas, J. y Leal, L. (2017). Affordance: constructo para la comprensión y transformación del aprendizaje en contextos interculturales. Tecné, Episteme y Didaxis, TED, 42, 63-77.

Tigua, D.y Bracho, A. (2023). Entornos virtuales de aprendizaje: una mirada teórica hacia el aprendizaje. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar. 7. 9262-9278. 10.37811/cl_rcm.v7i1.5048.

Yépez-Reyes, V. (2018). Posibilidades y facilidades de uso (affordances) del aprendizaje móvil en la educación superior. Revista Andina de Educación 1, 24-29. ISSN: 2631-2816. https://doi.org/10.32719/26312816.2018.1.1.3

Zapata-Ros, M. (2014). Presentación: Experiencias y tendencias en affordances de campus virtuales universitarios. RED, Revista de Educación a Distancia. Nº 42. Número monográfico sobre "Experiencias y tendencias en affordances educativas de campus virtuales universitarios". http://www.um.es/ead/red/42

Diagnóstico Automático de Tuberculosis en Radiografías de Tórax aplicando Aprendizaje Automático

Guanca, J. Daniel Antonio[1]; Izetta Riera, C. Javier[1];Pérez Otero, Nilda M.[1]; Verazay, Abigail N. [1]

(1) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.
dany12rp13@gmail.com; javierizetta@fi.unju.edu.ar; nilperez@fi.unju.edu.ar; abigailverazay@hotmail.com

RESUMEN

En los últimos años, ha habido un creciente interés en el uso de técnicas de aprendizaje automático en el diagnóstico asistido por computadora, logrando resultados satisfactorios en la detección de algunas patologías y enfermedades como fracturas, fisuras, tendinopatías, cáncer y tuberculosis, entre otras. En particular, el diagnóstico automático de la tuberculosis a través de radiografías de tórax es de vital importancia, ya que permitiría la detección de esta enfermedad en una etapa temprana, aumentando las posibilidades de recuperación del paciente. El presente trabajo consiste en el análisis, diseño y prueba de un modelo que, mediante el uso de técnicas de aprendizaje automático, permite el diagnóstico de tuberculosis pulmonar a partir de imágenes radiográficas de tórax de pacientes de ambos sexos y diferentes edades.

ABSTRACT

In recent years, there has been a growing interest in using machine learning techniques in computer-aided diagnosis, achieving satisfactory results in detecting some pathologies and diseases such as fractures, fissures, tendinopathies, cancer and tuberculosis, among others. Particularly, the automatic diagnosis of tuberculosis through chest radiographs is of vital importance as it would allow the detection of this disease at an early stage, increasing the patient's chances of recovery. The present work consists of the analysis, design and testing of a model that, using machine learning techniques, allows for the diagnosis of pulmonary tuberculosis from chest radiographic images of patients of both sexes and different ages.

Palabras claves: Aprendizaje Automático - Diagnóstico Asistido por Computadora - Tuberculosis

Keywords: Machine Learning - Computer-aided Diagnosis- Tuberculosis

1. INTRODUCCIÓN

El continuo avance tecnológico permitió la evolución en el desarrollo de áreas como la visión artificial, antes limitada por las bajas prestaciones de hardware de la época. Hoy en día, dentro del campo de la visión artificial, las técnicas de aprendizaje automático están siendo aplicadas exitosamente para dar solución a diversas problemáticas (Bradski, 1998, Freeman*et al.*, 1996,Hou*et al.*, 2017).

Entre las técnicas de Aprendizaje Automático (Machine Learning, ML) se destacan las Máquinas de Soporte Vectorial (SVM, por sus siglas en inglés), RandomForest (RF) y métodos de aprendizaje profundo como las Redes Neuronales Convolucionales (CNN, por sus siglas en inglés).

Los métodos SVM y RF son técnicas de aprendizaje supervisado que, mediante el entrenamiento a partir de un conjunto de datos con sus respectivas etiquetas, permiten detectar o predecir las etiquetas de los datos de entrada que no pertenecen al conjunto previo de entrenamiento, en otras palabras, son potentes clasificadores. El buen rendimiento que presentan estos clasificadores los convierte en una buena opción para la resolución de problemas de visión

artificial. Es decir, utilizar imágenes en el conjunto de datos de entrenamiento permite que estas técnicas resuelvan una amplia variedad de problemas de clasificación en la visión artificial (Calandria *et al.*, 2007; Bosch *et al.*, 2007). Por otro lado, las CNN son utilizadas exitosamente en problemas con imágenes ya que permiten realizar la extracción de las características de una imagen en forma automática. Esta extracción mejora la detección de objetos dentro de una imagen y su posterior clasificación a mayor velocidad y menor costo que métodos manuales. Es por esta razón que estas técnicas son muy utilizadas en imágenes médicas tales como el diagnóstico de enfermedades mediante tomografías, resonancias y radiografías, ya que brindan la posibilidad de detectar los patrones más importantes de enfermedades y lesiones que se manifiestan en las mismas permitiendo realizar un diagnóstico de estas patologías de forma automática con una precisión aceptable.

En los últimos años se ha profundizado el interés de utilizar técnicas de ML en los diagnósticos asistidos por computadora (CAD) logrando resultados satisfactorios en la detección de algunas patologías y enfermedades como fracturas, fisuras, tendinopatías, cáncer, Tuberculosis, entre otras. Particularmente el diagnóstico automático de tuberculosis mediante radiografías de tórax es de vital importancia ya que permitiría detectar está enfermedad en una etapa temprana aumentando las posibilidades de recuperación del paciente.

El presente trabajo consiste en el análisis, diseño, y prueba de un modelo que, mediante el uso de técnicas de Aprendizaje Automatizado, permita el diagnóstico de la enfermedad tuberculosis pulmonar a partir de imágenes radiográficas de tórax de pacientes de ambos sexos y distintas edades.

1.1 *Antecedentes*

Existen varias aplicaciones de técnicas de aprendizaje automático en el diagnóstico automático de Tuberculosis en radiografías de tórax, a continuación, se mencionan las que se tomaron como guía y ayuda para el desarrollo del presente trabajo.

En el artículo de Stirenko*et al*. (2018), los autores proponen utilizar técnicas de segmentación y aumentación con y sin pérdida de datos cuando se cuenta con conjuntos de datos pequeños (menos de 1000 imágenes). Con las técnicas propuestas los autores logran mejorar la eficiencia de la CNN. El caso de estudio de este trabajo fue el diagnóstico de Tuberculosis en radiografías médicas de tórax.

La propuesta de Lakhani y Sundara (2017) es evaluar el rendimiento de las CNN en la detección de Tuberculosis en radiografías de tórax. Para la evaluación, comparan el rendimiento de un modelo que fue entrenado previamente con aproximadamente un millón de imágenes diversas obtenidas de la base de datos ImageNet, contra el rendimiento de un modelo sin previo entrenamiento. Ambos modelos utilizan una arquitectura de dos redes muy conocidas: AlexNet y GoogleNet. Además, utilizan métodos de aumentación de datos llegando a la conclusión que el modelo preentrenado y con aumentación de datos produce un mejor rendimiento que el modelo no entrenado previamente.

Evalgelista y Guedes (2018) proponen entrenar y probar nueve arquitecturas CNN diferentes y dos ensembles de ellas para evaluar cual logra un mejor rendimiento en la detección de tuberculosis. Para entrenar las arquitecturas se usaron tres *datasets* diferentes y se destaca que no se utilizó ningún método de aumentación de datos. De las nueve arquitecturas CNN entrenadas se seleccionaron las tres que dieron mejores resultados en rendimiento y se construyó un ensemble con ellas. Luego, otro ensemble fue construido utilizando las nueve arquitecturas CNN entrenadas, incluidas las tres arquitecturas mencionadas previamente. Al comparar ambos ensembles se demuestra que el ensemble formado por las tres arquitecturas CNN de mejor rendimiento superó al ensemble formado por las nueve arquitecturas CNN propuestas.

En (Heo*et al*., 2019) se demuestra que el uso de variables demográficas tales como género, edad, peso y altura mejoran significativamente el rendimiento de las CNN en la detección de tuberculosis. Para demostrarlo comparan el rendimiento de dos CNN, una que fue entrenada solo con las radiografías, y otra que fue entrenada con radiografías y con las variables demográficas correspondientes al paciente. Se llegó a la conclusión que a medida que se agregan variables demográficas el rendimiento de la red aumenta, para este estudio el uso de las variables

demográficas tales como peso, edad, género y altura, resultaron en un aumento del 2,88% en la precisión de la red.

En Dasanayaka et al. (2021) se presenta una red convolucional profunda, que consta de tres estructuras diferentes para optimizar, generar, segmentar y clasificar imágenes de radiografías de tórax. Se aplican aumentación de datos y ajuste de parámetros utilizando un algoritmo genético para mejorar los resultados diagnósticos. Con este método se logra una precisión del 97.1%.

Van Ginneken *et al*., (2013) proponen utilizar un conjunto de subprocesos tales como normalización y segmentación de las imágenes, análisis de simetría, textura y forma del pulmón. Cada proceso genera un resultado independiente, los cuales son usados como características de entradas de un clasificador RandomForest, que fue entrenado con un conjunto de mil imágenes radiográficas normales y anormales. El clasificador genera como salida un puntaje global que indica que tan anormal es la imagen, mayor puntaje de la imagen indica mayor probabilidad de la presencia de tuberculosis en el paciente. Al analizar los resultados se llegó a la conclusión de que el rendimiento del sistema conformado por los subprocesos y el clasificador es cercano al de un radiólogo.

Fati*et. al.* (2022) centran su trabajo en aplicar dos técnicas de inteligencia artificial, CNN y ANN. Proponen dos enfoques diferentes para diagnosticar la tuberculosis a partir de dos conjuntos de datos con radiografías de tórax. El primer enfoque combina dos modelos de CNN. Utilizan el algoritmo de análisis de componentes principales (PCA) para reducir la dimensionalidad. El segundo enfoque aplica redes neuronales artificiales (ANN) basadas en características fusionadas extraídas aplicando diferentes algoritmos.

2 DIAGNÓSTICO DE TUBERCULOSIS EN RADIOGRAFIAS DE TÓRAX

La tuberculosis es una enfermedad bacteriana contagiosa vía aérea que afecta principalmente a los pulmones. Es una de las enfermedades que más muertes causa, estando dentro de las 10 primeras causas de muerte en el mundo, superando al virus de inmunodeficiencia humana (VIH o HIV, por sus siglas en inglés) y a la malaria (Evalgelista y Guedes, 2018).

El uso de radiografías de tórax para la detección temprana de tuberculosis es el primer método de aproximación diagnóstica, es realizado por radiólogos y consiste en analizar manualmente las radiografías de tórax del paciente en busca de la presencia de patrones como adenopatías, patrones miliares y derrames basales para el caso de tuberculosis primaria que se manifiesta en niños y adultos con VIH. Los patrones correspondientes a tuberculosis postprimaria que se pueden detectar en radiografías son condensación y/o excavación de lóbulos, como así también la reducción de aquellos, esta forma de la enfermedad es más común en adultos (Miranda et al. 2004).Un ejemplo de esto se puede apreciar en la Figura 1 donde se muestran las radiografías de dos pacientes. La radiografía de la Figura 1 (a) no presenta signos de tuberculosis, mientras que la Figura 1 (b) presenta signos de tuberculosis postprimaria(Lopes y Valiati, 2017).

Una ventaja del uso de imágenes radiográficas frente a otros métodos de detección que no las utilizan es que constituyen una de las vías para la detección de esta enfermedad en etapas tempranas. El diagnóstico temprano es crucial para controlar la enfermedad evitando su propagación, aumentando las posibilidades de recuperación del paciente y mejorando su calidad de vida. Además, el diagnóstico temprano es esencial para interrumpir la transmisión de la tuberculosis (Vallejo *et al.*, 2015). Se estima que por cada año sin tratamiento que pasa un paciente con esta enfermedad puede llegar a infectar entre 10 y 15 personas más (Cáceres-Manrique y Orozco-Vargas, 2008). Otra ventaja es que el diagnóstico de tuberculosis mediante radiografías de tórax es recomendable debido a su fácil acceso y bajo costo comparado con otros métodos de detección. Por ejemplo, algunos métodos de detección no basados en radiografías implican el diagnostico microbiológico en el cual buscan la presencia de bacilos acidorresistentes (BAAR) en un frotis de esputo. Debido a que algunos bacilos acidorresistentes pueden no ser de tuberculosis la simple presencia de ellos no confirma la enfermedad. Por esta razón, es necesario realizar un cultivo adicional en busca de bacilos de tuberculosis, pero las sensibilidades de estos métodos son reducidas en pacientes con VIH por lo que se recomienda el diagnóstico de esta

enfermedad mediante imágenes radiográficas (Rohilla y Hooda, 2017).

(a)

(b)

Figura 1:(a)Radiografía sin signos de tuberculosis. (b) Radiografía que presenta signos de tuberculosis postprimaria.

3 DIAGNÓSTICO DE TUBERCULOSIS ASISTIDO POR COMPUTADORA

A pesar de las ventajas previamente mencionadas del diagnóstico de tuberculosis mediante radiografías, existe un gran obstáculo y es que el análisis de la radiografía necesita ser realizado manualmente por radiólogos entrenados. Esto genera, por un lado, que la precisión de este método dependa de la habilidad y experiencia en la interpretación del radiólogo (Rohilla y Hooda, 2017) y, por otro, la disponibilidad de estos radiólogos supone un gran problema en países de medios y bajos recursos en donde hay escasez de radiólogos para esta tarea (Liu *et al*., 2017).

Una solución a este obstáculo es el uso de sistemas de diagnóstico asistidos por computadoras (CADS, por sus siglas en inglés) que permiten automatizar todo el proceso, lo que disminuye drásticamente los costos y el tiempo, acelerando el proceso de detección de casos activos. Además, éstos logran resultados comparables y, en algunos casos, superiores al de los *datasets* formados por expertos en el diagnóstico de tuberculosis (Heo*et al*. , 2019).

Desde el punto de vista de la visión artificial, el CADS de tuberculosis se puede dividir en cuatro tareas: el preprocesamiento de las imágenes radiográficas, la segmentación de los pulmones, la extracción de características y el reconocimiento o detección de la enfermedad (Figura2).

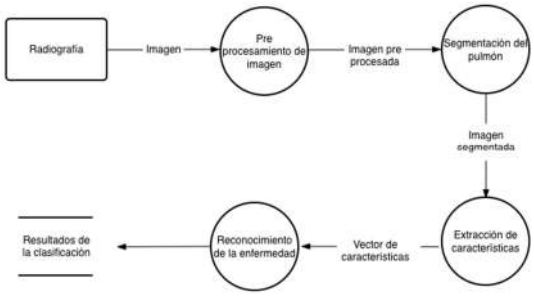


Figura 2: Esquema del proceso de diagnóstico asistido por computadora de tuberculosis.

En el preprocesamiento de las imágenes radiográficas se busca mejorar la calidad de las radiografías con el objetivo de resaltar sus características para así aumentar el rendimiento de las siguientes tareas como la extracción de características. Para este preprocesamiento se pueden aplicar métodos de corrección de contraste y brillo, reducción de ruido, filtros, entre otros. Detalles de estos métodos se pueden encontrar en los trabajos (Sherrier y Johnson, 1987; Kwan y Kwan, 2011; Savitha y Naveen, 2016).

La segmentación de las imágenes consiste en separar la región de interés de la imagen, pulmones en este caso, para así solo utilizar esta región. Esto mejora el rendimiento de los métodos de extracción de características, ya que no introducirá ruido de otras regiones no importantes para el diagnóstico de la enfermedad. Para el realizar el proceso de segmentación generalmente se utilizan máscaras, estas máscaras imitan el contorno de los pulmones y se superponen sobre la radiografía correspondiente (Stirenko*et al.*, 2018). Luego se procede a eliminar las regiones que se encuentran fuera del contorno de la máscara, quedando como resultado

únicamente los pulmones a analizar, como se muestra en la Figura 3.

(a) (b) (c)

Figura 3: Ejemplos de una radiografía de tórax (a), la máscara correspondiente al pulmón (b), y el resultado de la imagen segmentada (c) (Stirenko*et al.,* 2018).

Con las imágenes preprocesadas y segmentadas se procede a realizar las tareas de extracción de características tanto globales como locales de la imagen segmentada. Para realizar esta tarea existen dos formas, una mediante métodos de análisis y otra utilizando las ventajas de las redes convolucionales.

En la literatura existen una gran variedad de métodos de análisis para la extracción de características en el diagnóstico de tuberculosis asistido por computadora, la más simple consiste en usar como características los valores de los pixeles de las imágenes originales. Otras alternativas son: el análisis del receso costodiafragmático, el análisis de textura, el análisis de la forma del pulmón y el análisis de la simetría (Fati*et. al*. 2022; van Ginneken*et al.*, 2013; Cao *et al.*, 2016).

La extracción de características también puede realizarse utilizando redes convolucionales. Mediante éstas, las características de la imagen son automáticamente aprendidas por la red a través de las capas convolucionales, es decir que la extracción de características es realizada automáticamente (Rohilla y Hooda, 2017).

Finalmente, el reconocimiento de esta enfermedad se puede tomar como un problema de clasificación, en el que a partir de las características extraídas previamente se clasifica el resultado como positivo o negativo en la presencia de signos de tuberculosis. Para realizar esta tarea se pueden utilizar técnicas de aprendizaje automático como las SVM, RF y técnicas de aprendizaje profundo como las CNN. Estas técnicas son las más utilizadas debido al alto nivel de precisión y efectividad que logran en este tipo de tareas (Lakhani y Sundaram, 2017).

4 DISEÑO DEL MODELO

4.1 *Preparación de los datos de entrada del modelo*

Para la construcción del modelo se utilizó un conjunto de imágenes radiográficas de tórax con y sin evidencia de tuberculosis obtenidas del post "*PulmonaryChest X-RayAbnormalities*" de Kaggle(Mader, 2017).

El conjunto de datos consta de 662 imágenes radiográficas de tórax de personas de ambos sexos y diversas edades. De las 662 imágenes, 336 de ellas corresponden a casos con tuberculosis y las restantes (326) no presentan signos de tuberculosis. Todas las imágenes del conjunto de datos se encuentran en escala de grises, y las dimensiones de cada una se encuentran entre el rango de 1130×948 pixeles y 3001×3001 pixeles. Para determinar un subconjunto de datos que permita un correcto entrenamiento de los modelos de clasificación se debe realizar la segmentación del área de los pulmones en las imágenes, de esta manera se elimina la información irrelevante de los pixeles fuera de esta área. Antes de la segmentación se realizó un análisis y selección manual del conjunto de imágenes originales, es decir, se eliminaron aquellas imágenes en las que no era posible segmentar el área de los pulmones debido a que en las mismas los pulmones no estaban bien definidos (un ejemplo se puede observar en la Figura 4). La segmentación se realizó por medio del conjunto de máscaras brindadas en el conjunto de datos. Esta tarea se describe en apartado 4.3. Al terminar la selección de las imágenes se obtuvo un conjunto de datos de 564 imágenes para ser utilizadas en el entrenamiento de los clasificadores.

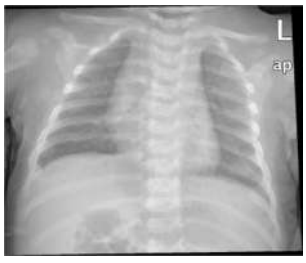


Figura 4: Radiografía de tórax del conjunto de datos original que no se incluyó en el entrenamiento.

4.2 *Construcción del modelo*

Para la construcción del modelo propuesto en este trabajo, las tareas fueron divididas en dos etapas claramente definidas. La primera etapa, llamada etapa de entrenamiento consiste en el entrenamiento de los clasificadores para poder distinguir entre una radiografía de tórax con tuberculosis de una sin tuberculosis y clasificarlas correctamente. Para realizar la primera etapa, fue necesario preparar el conjunto de datos sobre el cual se realiza el entrenamiento para obtener un mejor aprendizaje de los clasificadores. En este sentido se aplicaron técnicas bien conocidas del área de procesamiento de imágenes digitales como la segmentación y la reducción de las dimensiones de las imágenes. La segunda etapa de la construcción del modelo, llamada etapa de prueba consiste en la evaluación del desempeño de los clasificadores con un conjunto de radiografías nuevas no utilizadas durante la etapa de entrenamiento. Es importante aclarar que en cada etapa se utilizó un conjunto diferente de imágenes, para ello se aplicó la técnica *hold-out*(Weiss y Kulikowski, 1991) al conjunto de imágenes originales. De esta manera se obtuvo un subconjunto de datos correspondiente a la etapa de entrenamiento, que contiene el 80% de las imágenes, y otro subconjunto para la etapa de prueba del clasificador, que contiene el 20% restante de las imágenes. Se decidió por esta técnica por su facilidad de ejecución y por ser una de las técnicas más aplicadas.

En la Figura 5 es posible observar con más detalle los pasos básicos para la construcción del modelo propuesto. Cabe aclarar que estas etapas se corresponden a las etapas del esquema del proceso de diagnóstico de tuberculosis presentado en la Figura 2.

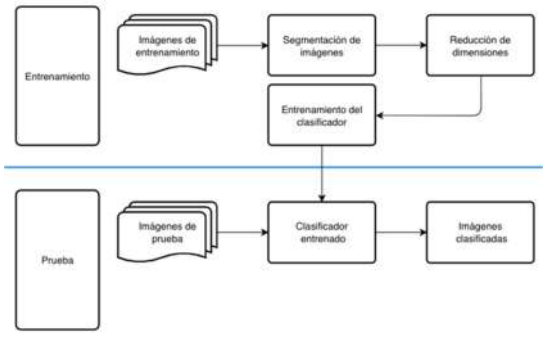


Figura 5: Esquema para la construcción del modelo.

4.3 *Segmentación de las imágenes*

El proceso de segmentación se realizó a partir de una colección de máscaras del conjunto de datos. Cada radiografía fue emparejada con su correspondiente máscara y procesada individualmente. El proceso consistió en superponer manualmente la máscara sobre la radiografía correspondiente, luego se asignó un valor de cero(0)a los pixeles comprendidos fuera del área de los pulmones y se conservó los valores de los pixeles dentro del área. En la Figura 3 se muestra una radiografía con su correspondiente máscara y el resultado final de aplicar el proceso de segmentación. El objetivo de aplicar este proceso es mejorar el aprendizaje de los clasificadores al eliminar las regiones que no son de importancia para el diagnóstico de tuberculosis.

4.4 *Reducción de dimensiones*

Las dimensiones del conjunto de imágenes segmentadas resultantes de la tarea anterior varían entre el rango de 1130×948 pixeles y 3001×3001 pixeles. Esto implica contar con un gran poder de cómputo para la siguiente tarea, el entrenamiento. Es por este motivo que se decidió reducir las dimensiones, tarea que se debe hacer tratando de conservar la mayor información posible. Cuando se aplican transformaciones a las imágenes, como la reducción de sus dimensiones, se presentan cambios de posición de los pixeles respecto a su posición inicial en el plano y por lo tanto, se requieren métodos de interpolación numérica para los valores que se asignarán a las nuevas posiciones. Al interpolar, se estima el valor más apropiado para cada uno de los nuevos píxeles (Melo, 2009). Existen diversas técnicas de interpolación entre las que se encuentra: vecino más cercano (Jiang y Wang, 2015), interpolación bilineal (Quezada Moncayo y Mera Collantes, 2009)e interpolación bicúbica(Acea Mena, 2012), entre otras. Esta última es la que se decidió aplicar en este trabajo. La interpolación bicúbica se puede lograr utilizando los polinomios de Lagrange, *splines* cúbicos o el algoritmo de convolución cúbica. Con interpolación bicúbica el valor del píxel de salida es un promedio ponderado del valor de los 16 píxeles en la vecindad 4×4 más cercana, más detalles de esta técnica se pueden encontrar en (Acea Mena, 2012). Se utilizó el método de interpolación bicúbica porque este genera una superficie

interpolada más suave que los demás métodos, manteniendo el detalle de una imagen remuestrada. Este método tampoco sufre el problema del efecto de salto y proporciona el menor emborronamiento.

Al finalizar el proceso de reducción, el conjunto de datos quedo conformado por 564 imágenes donde la dimensión de cada una de ellas es de 96×99 pixeles.

4.5 *Entrenamiento y prueba del clasificador*

Para el entrenamiento del modelo se utilizaron tres métodos para la clasificación: SVM, RF y CNN. De esta manera se obtienen tres variantes del modelo. El objetivo de entrenar los clasificadores es encontrar los valores más adecuados para cada método en los distintos subconjuntos de entrenamiento, esto consiste en la variación de ciertos parámetros. Los parámetros a variar están definidos por el método de clasificación utilizado. Para SVM, los parámetros a variar son la función de *kernel* y el costo. En RF el parámetro a variar es el número de árboles usados. Y, por último, para CNN el número de neuronas por capa, el número de capas ocultas, las repeticiones y el *learningrate*.

Para una estimación más precisa del desempeño, el entrenamiento y la prueba de SVM y RF se repiten 30 veces y se calcula su error promedio. Mientras que, para CNN, el entrenamiento y prueba se repiten 5 veces debido al costo computacional que supone cada entrenamiento, luego se calcula el error promedio como en SVM y RF.

Al finalizar el entrenamiento se selecciona la variante con el clasificador cuyo error promedio de clasificación fue el más bajo. Esta variante formará parte de la versión final delmodelo propuesto.

5 PRUEBA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 *Configuración experimental*

El desarrollo de las experimentaciones se realizó mediante los pasos ilustrados en el diagrama de la Figura 6. Este proceso implica aplicar la técnica *Hold-out*sobre el conjunto de datos, en un número de iteraciones representado por "*X*". El valor de "*X*" corresponde a 30 (treinta) iteraciones para las configuraciones de las variantes con SVM y RF. Mientras que para las configuraciones con CNN el valor de "*X*" fue de 5 (cinco). El objetivo de esto fue calcular el error promedio de clasificación por cada configuración que se evaluó de manera de obtener una estimación más certera del mismo.

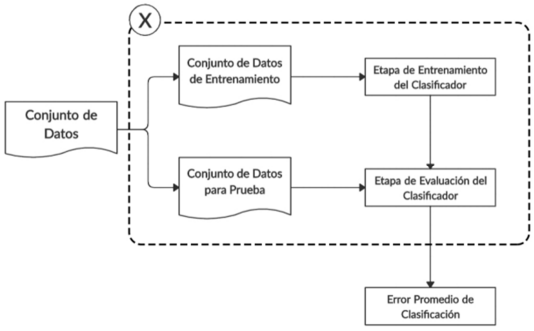


Figura 6: Diagrama de configuración experimental.

5.2 *Ajustes de parámetros para SVM*

Los parámetros ajustados en SVM fueron el *kernel* y costo. Se utilizaron dos configuraciones de *kernel* distintas, radial y lineal. Además, para cada configuración de *kernel* se utilizaron distintos valores para el parámetro costo siendo estos 1, 10 y 100.

En la Tabla 1 se expone un resumen de los errores promedio de clasificación obtenidos a partir de 30 corridas de las experimentaciones realizadas sobre el conjunto de datos de prueba con cada configuración.

Tabla 1. Resultados de SVM con *kernel* lineal, radial y distintos valores de costo.

Kernel	Costo	Error promedio de clasificación
Lineal	1	0.3142424
	10	0.3142424
	100	0.3142424
Radial	1	0.2818182
	10	**0.2472727**
	100	0.2839394

Se puede observar en la Tabla 1, que el valor de costo en la configuración con *kernel* lineal no influye en el error promedio de clasificación alcanzado. Mientras que para la configuración con *kernel* radial, el error promedio de

clasificación varía con respecto al valor de costo, obteniendo la menor tasa de error entre las configuraciones evaluadas con un valor de costo igual a 10. Si el costo es pequeño, los márgenes serán estrechos y muy pocas observaciones podrán estar en el lado incorrecto del mismo, esto equivale a un modelo bastante bien ajustado a los datos. A medida que se incrementa el costo, mayor es la tolerancia a las clasificaciones incorrectas sobre el margen, con lo que el margen será más ancho y habrá más vectores soporte, esto equivale a un modelo más flexible y evitamos el sobreajuste. Por otro lado, podemos observar que se alcanzó tasas de errores más bajas con un *kernel* radial. Esto puede deberse a que la no linealidad de los datos es alta, por lo que al usar un *kernel* radial posibilita separar los datos de forma más eficiente lo cual beneficia el desempeño del modelo.

5.3 *Ajustes de parámetros para RF*

Uno de los parámetros principales del método RF es el número de árboles de decisión que se utilizarán dentro del ensamble de clasificación. El número de árboles de decisión va a depender de la complejidad del problema. Generalmente, a mayor número de árboles se obtienen mejores resultados, pero requiere mayor costo computacional y mayor tiempo de entrenamiento. El ajuste de este parámetro se realiza mediante la experimentación.

En la Tabla 2 se exponen los resultados de las experiencias realizadas con RF con una configuración de 1, 10, 100, 1.000 y 10.000 árboles de decisión. Se muestra el error promedio de clasificación al realizar 30 corridas por cada configuración sobre el conjunto de datos de prueba.

Tabla 2. Resultados de RF con 1, 10, 100, 1.000 y 10.000 árboles de decisión.

Número de árboles	Error promedio de clasificación
1	0,3469697
10	0,2895758
100	0,2306515
1.000	0,2197497
10.000	**0,2160022**

Se puede observar en la Tabla 2 que el error promedio de clasificación disminuye a medida que el número de árboles de decisión aumenta. Este comportamiento se debe a que RF utiliza diferentes conjuntos de ejemplos y atributos para la construcción de cada árbol de decisión. Entonces, cada conjunto de árboles aprende una parte diferente del problema por lo que, al aumentar la cantidad de árboles, estos pueden cubrir más partes del problema, lo que resulta en una mejora de la capacidad de clasificación.

Los mejores resultados corresponden a utilizar 1.000 y 10.000 árboles de decisión cuya diferencia en los errores promedios es mínima. Sin embargo, existe una gran diferencia en el tiempo de entrenamiento entre ambas configuraciones. Para la configuración con 1.000 árboles de decisión el tiempo de entrenamiento fue de aproximadamente una hora. Mientras que para la configuración con 10.000 árboles de decisión el tiempo de entrenamiento fue mucho mayor, aproximadamente 12 horas. Por lo que se decidió utilizar 1.000 árboles para RF en este problema en particular.

5.4 *Ajustes de parámetros para CNN*

Debido a la complejidad de las CNN, existen una extensa cantidad de parámetros que pueden configurarse para influir en el rendimiento del entrenamiento. Para este modelo en particular los parámetros que se ajustaron son, el número de neuronas por capa, el número de capas, el *learningrate* y las iteraciones o *epochs*.

Si bien existe la idea de que con más capas y neuronas se puede mejorar las predicciones en problemas complejos, no existe una regla general para determinar la arquitectura de una CNN. El mejor ajuste se debe encontrar mediante la experimentación y no siempre es aquel con mayor número de capas y neuronas. Otro parámetro importante es el *learningrate*, mientras mayor sea el valor del parámetro menos estable se vuelve el modelo por lo tanto el resultado se ve afectado. Si se utiliza valores pequeños de *learningrate* el resultado mejorará, pero tardará en converger por lo que se debe encontrar un equilibrio entre estos dos aspectos. Por último, se ajustó el parámetro *epochs* que especifica el número de iteraciones a realizar sobre todo el conjunto de entrenamiento. En todas las experimentaciones de esta variante se calculó el error de clasificación promedio de 5 corridas.

5.4.1 Evaluación de las arquitecturas

En primer lugar, se evaluaron nueve arquitecturas diferentes para determinar cuál de ellas obtiene el mejor desempeño en este problema. Para ello se evaluaron diferentes cantidades de capas y neuronas manteniendo constante los demás parámetros.

En la Tabla 3 se exponen los resultados de las experiencias realizadas sobre CNN para las distintas arquitecturas. Los números comprendidos en los paréntesis corresponden a la cantidad de neuronas de cada capa. Por ejemplo, la primera arquitectura contiene cuatro capas de las cuales la primera contiene 190 neuronas, la segunda 63 neuronas, la tercera 21 neuronas y última capa 7 neuronas. Además, en esta tabla se muestran los errores promedio de clasificación de cinco corridas por cada configuración sobre el conjunto de datos de prueba.

Tabla 3. Resultados de CNN con distintas arquitecturas.

Arquitectura	Error promedio de clasificación
$A_1(190,63,21,7)$	0,2905457
$A_2(380,126,42,14)$	0,2687648
$A_3(570,189,63,21)$	0,2618187
$A_4(190,63,21,7,3)$	0,264738
$A_5(380,126,42,14,6)$	0,2960904
$A_6(570,189,63,21,9)$	0,2783988
$A_7(\mathbf{190,63,21})$	$\mathbf{0,2602803}$
$A_8(380,126,42)$	0,2686285
$A_9(570,189,63)$	0,2654643

Se puede observar en la Tabla 3, que el error promedio de clasificación más bajo corresponde a la arquitectura A_7 que es la más simple, la cual está formada por tres capas, donde la primera capa tiene 190 neuronas, la segunda 63 y la última21 neuronas. Por lo que esta arquitectura será la elegida para las siguientes experimentaciones de este del modelo.

5.4.2 Ajuste de los parámetros *epochs* y *learningrate*

En estas experimentaciones se evaluaron distintos valores para los parámetros *epochs* y *learningrate* sobre la arquitectura A_7. Los resultados de las experiencias realizadas se ilustran en la Tabla 4. Se muestra el error promedio de clasificación al realizar cinco corridas por cada configuración sobre el conjunto de datos de prueba.

Tabla 4. Resultados de CNN con arquitectura A_7 y distintas configuraciones para los parámetros *epochs* y *learningrate*.

Epochs	LearningRate	Error promedio de clasificación
50	0,05	0,2606039
	0,005	0,2506185
	$\mathbf{0,0005}$	$\mathbf{0,2478248}$
100	0,05	0,2586947
	0,005	0,2637409
	0,0005	0,2744089

De los errores promedio de clasificación ilustrados en la Tabla 4, el menor corresponde a un valor de 50 para *epochs* y un *learningrate* de 0,0005. Por lo que podemos concluir que, a partir de las configuraciones experimentadas anteriormente, la que mejor configuración es aquella con la arquitectura A_7, *learningrate*0,0005 y 50*epochs*.

5.5 *Comparación de las variantes del modelo propuesto*

En este apartado se realiza una comparación de los mejores resultados en cuanto a desempeño/rendimiento de todas las variantes del modelo con el fin de determinar aquella que obtenga el mejor resultado de todas. En la Tabla 5 se presenta un resumen de los errores promedios correspondientes a dichas variantes.

Tabla 5. Resultados de las mejores configuraciones de las variantes del modelo.

Variante	Error promedio de clasificación
SVM con *kernel* radial y $C = 10$	0.2472727
+	$\mathbf{0,2197497}$
CNN con arquitectura A_7, $epochs = 50$ y $learningrate = 0{,}0005$	0,2478248

Se puede observar en la Tabla 5, que la variante con RF es la que obtuvo el menor error promedio de clasificación. Por lo que se puede concluir que para este problema en particular y en comparación con las distintas configuraciones de las demás variantes mencionadas previamente, la variante con RF obtuvo mejores resultados. Esto podría deberse a que SVM y CNN generalmente necesitan un ajuste de parámetros más

exhaustivo. Además, las CNN necesitan una gran cantidad de imágenes para obtener un mejor rendimiento. Por lo que la variante con RF formará parte de la versión final del modelo propuesto en el presente trabajo.

5.6 *Sensibilidad y especificidad*

Existen dos medidas muy utilizadas para evaluar sistemas de diagnósticos asistidos por computadora, la sensibilidad y la especificidad. En este caso de estudio la sensibilidad es el porcentaje de personas que tienen tuberculosis y dan positivas con el modelo. Mientras que la especificidad es el porcentaje de personas que no tienen la enfermedad y que el modelo clasifica como negativos.

El modelo con RF obtuvo como porcentaje de sensibilidad el valor de 77%. Esto significa en términos numéricos, que de 100 personas que presenten signos de la enfermedad tuberculosis, el sistema detectaría como casos positivos verdaderos a 77 personas y clasificaría como falsos positivos a 23 personas. Mientras que el porcentaje de especificidad obtenido es del 80%. Lo que resulta en que de 100 personas que no presentan la enfermedad, el sistema clasificaría 80 personas como negativas para tuberculosis y las restantes 20 personas las clasificaría como falsos negativos para tuberculosis.

Estos resultados son bastantes prometedores considerando lo problemático que es diagnosticar la enfermedad mediante imágenes radiográficas por lo que se considera que el modelo cumplió con las expectativas ya que realiza la clasificación con una precisión aproximada a la de los trabajos consultados.

5.7 *Comparación del modelo y el algoritmo de Stirenko y colaboradores*

En el trabajo de Stirenko*et al*. (2018) se propone un algoritmo basado en redes convolucionales junto con métodos como la segmentación y la aumentación con y sin pérdida de datos. Esta propuesta tiene la desventaja de demandar un gran poder de cómputo ya que utiliza una red convolucional con una arquitectura compleja. Esto implica contar con un equipamiento costoso para poder implementarla. Con la intención de lograr resultados comparables e incluso mejorarlos, en el presente trabajo se utilizó el mismo conjunto de imágenes y máscaras propuestas por Stirenko*et al*. (2018), pero sin aumentación de datos y utilizando métodos más simples de *machinelearning* que puedan ser implementados en computadoras convencionales. Las experimentaciones realizadas permitieron demostrar que el modelo con RF propuesto obtuvo una exactitud (*accuracy*)0,8. Mientras que el modelo de Stirenko*et al*. (2018) obtuvo una exactitud de 0,7. Por lo que se puede concluir que se logró una mejora significativa en los resultados obtenidos con respecto a las CNN evaluadas en el trabajo mencionado. Esto podría deberse a que RF al no necesitar una gran cantidad de imágenes en su entrenamiento logra acercarse a una mejor solución.

6 CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó la construcción de un modelo capaz de diagnosticar Tuberculosis de forma automática a través de imágenes radiográficas de tórax. El modelo desarrollado posee tres variantes que corresponden a la aplicación de distintas técnicas de *machine learning* tales como: SVM, RFy CNN. Las experimentaciones realizadas permitieron concluir lo siguiente:

• La utilización de un *kernel* radial mejoró el desempeño del modelo con SVM. Debido a que este tipo de *kernel* es más adecuado en problemas no lineales.

• El tiempo de entrenamiento fue decisivo al momento de definir la cantidad de árboles en RF debido a que el mismo fue mucho menor y la diferencia de la tasa de error no fue significativa al usar 1.000 o 10.000 árboles.

• Para este caso en particular la arquitectura más simple de CNN presentó la menor tasa de error. Consiste en tres capas donde la primera consta de 190 neuronas, la segunda de 63 neuronas y la última capa de 21 neuronas.

• El estudio comparativo entre las tres variantes del modelo propuesto en el presente trabajo, permitió concluir que con RF se obtiene el mejor desempeño para este problema en particular. Por lo que este método de clasificación fue el elegido para versión final del modelo.

• Se obtuvo un valor de sensibilidad del 77% y un valor de especificidad del 80% con la versión

final del modelo. Estos valores reflejan el buen desempeño del clasificador RF para este problema, ya que corresponden a valores aproximados a los obtenidos en trabajos similares.

• En base a las experimentaciones realizadas, se puede concluir que el modelo propuesto en este trabajo mejora significativamente los resultados de la propuesta de Stirenko*et al*. (2018).

• Se demostró que utilizando un método simple de *machinelearning*, capaz de correr en un sistema convencional, se obtienen resultados comparables con los existentes en el estado del arte sin la necesidad de la aplicación de técnicas sofisticadas de aumentación de datos y extracción de características constituyendo esto el principal aporte del trabajo.

7 TRABAJOS FUTUROS

Existen muchas vías de investigación para continuar este trabajo, por un lado, están las que contemplan aspectos a mejorar:

• Realizar un ajuste de parámetros más profundo de los métodos de clasificación, en especial de la variante con CNN en la cual se podría experimentar con numerosas arquitecturas en busca de reducir la tasa de error.

• Evaluar el desempeño de todas las variantes del modelo al aplicar técnicas de preprocesamiento a las imágenes como, aumentación de datos, filtros, entre otros.

• Aplicar técnicas de extracción de características como el análisis de textura, el análisis de la forma del pulmón y el análisis de la simetría para las variantes con SVM y RF.

Por otro lado, algunas direcciones en las que se puede extender el presente trabajo a manera de continuar contribuyendo con el desarrollo de la investigación son:

• Utilizar otro tipo de imágenes para el diagnóstico de Tuberculosis como las resonancias magnéticas las cuales presentan más información.

•Extender el modelo a otros problemas de enfoque similar como por ejemplo el diagnóstico de cáncer de pulmón mediante radiografías o incluso tomografías.

8 REFERENCIAS

Acea Mena, L. (2012). *Efectos de la interpolación sobre la calidad de la segmentación empleando la transformada watershed* (Doctoral dissertation, Universidad Central" Marta Abreu" de Las Villas).

Bosch, A., Zisserman, A., & Munoz, X. (2007, October). Image classification using random forests and ferns. In *2007 IEEE 11th international conference on computer vision* (pp. 1-8). Ieee.

Bradski, G. R. (1998). Computer vision face tracking for use in a perceptual user interface.

Cáceres-Manrique, F. D. M., & Orozco-Vargas, L. C. (2008). Demora en el diagnóstico de tuberculosis pulmonar en una región de Colombia. *Revista de Salud Pública*, *10*, 94-104.

Calandria, D. J., Cañas, A., & Díaz, A. F. (2007). Detección de rostros humanos mediante SVM y generación de fotografías de tipo carné. In *Actas del Simposio de Inteligencia Computacional SICO'2007*.

Cao, Y., Liu, C., Liu, B., Brunette, M. J., Zhang, N., Sun, T., ... & Curioso, W. H. (2016, June). Improving tuberculosis diagnostics using deep learning and mobile health technologies among resource-poor and marginalized communities. In *2016 IEEE first international conference on connected health: applications, systems and engineering technologies (CHASE)* (pp. 274-281). IEEE.

Dasanayaka, C., &Dissanayake, M. B. (2021).*Deep learning methods for screening pulmonary tuberculosis using chest X-rays.* Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering: Imaging & Visualization, 9(1), 39-49.

Evalgelista, L. G. C., & Guedes, E. B. (2018, October). Computer-Aided Tuberculosis Detection from Chest X-Ray Images with Convolutional Neural Networks. In *Anais do XV Encontro Nacional de Inteligência Artificial e Computacional* (pp. 518-527). SBC.

Fati, S. M., Senan, E. M., &ElHakim, N. (2022).*Deep and hybrid learning technique for early detection of tuberculosis based on X-ray images using feature fusion*. Applied Sciences, 12(14), 7092.

Freeman, W. T., Tanaka, K. I., Ohta, J., &Kyuma, K. (1996). Computer vision for computer games. *fg*, *96*, 100-105.

Heo, S. J., Kim, Y., Yun, S., Lim, S. S., Kim, J., Nam, C. M., ... & Yoon, J. H. (2019). Deep Learning Algorithms with Demographic Information Help to Detect Tuberculosis in Chest Radiographs in Annual Workers' Health Examination Data. *International journal of environmental research and public health*, *16*(2), 250.

Hou, R., Chen, C., & Shah, M. (2017). Tube convolutional neural network (T-CNN) for action detection in videos. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision* (pp. 5822-5831).

Jiang, N., & Wang, L. (2015). Quantum image scaling using nearest neighbor interpolation. *Quantum Information Processing*, *14*(5), 1559-1571.

Kwan, B. Y., & Kwan, H. K. (2011). Improved lung nodule visualization on chest radiographs using digital filtering and contrast enhancement. *World AcadSciEngTechnol*, *110*, 590-3.

Lakhani, P., & Sundaram, B. (2017). Deep learning at chest radiography: automated classification of pulmonary tuberculosis by using convolutional neural networks. *Radiology*, *284*(2), 574-582.

Liu, C., Cao, Y., Alcantara, M., Liu, B., Brunette, M., Peinado, J., & Curioso, W. (2017, September). TX-CNN: Detecting tuberculosis in chest X-ray images using convolutional neural network. In *2017 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)* (pp. 2314-2318). IEEE.

Lopes, U. K., &Valiati, J. F. (2017). Pre-trained convolutional neural networks as feature extractors for tuberculosis detection. *Computers in biology and medicine*, *89*, 135-143.

Mader, K. M. (2017). Pulmonary Chest X-Ray Abnormalities. Recuperado 2 noviembre, 2019, de https://www.kaggle.com/kmader/pulmonary-chest-xray-abnormalities

Melo, S. B. (2009). Transformaciones geométricas sobre imágenes digitales. *Facultad de Ciencias-Carrera de Matemáticas. Universidad Distrital Francisco José de Caldas*.

Miranda, G., Díaz, J. C., Arancibia, P., Antolini, M., Díaz, C., & Vidal, A. (2004). Manifestaciones radiográficas de la tuberculosis pulmonar. *Revista chilena de radiología*, *10*(4), 178-182.

Quezada Moncayo, C., & Mera Collantes, M. (2009). *Programa demostrativo del escalamiento de una imagen monocromatica usando los métodos de replicación de pixeles (filtro de cajas) e interpolación bilineal (filtro bartlelt)* (Bachelor's thesis).

Rohilla, A., Hooda, R., & Mittal, A. (2017). TB detection in chest radiograph using deep learning architecture. In *Proceeding of 5th International conference on Emerging Trends in Engineering, Technology, Science and Management (ICETETSM-17)* (Vol. 136147).

Savitha, S. K., & Naveen, N. C. (2016, March). Algorithm for pre-processing chest-x-ray using multi-level enhancement operation. In *2016 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET)* (pp. 2182-2186). IEEE.

Sherrier, R. H., & Johnson, G. A. (1987). Regionally adaptive histogram equalization of the chest. *IEEE transactions on medical imaging*, *6*(1), 1-7.

Stirenko, S., Kochura, Y., Alienin, O., Rokovyi, O., Gordienko, Y., Gang, P., & Zeng, W. (2018, April). Chest X-ray analysis of tuberculosis by deep learning with segmentation and augmentation. In *2018 IEEE 38th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)* (pp. 422-428). IEEE.

Vallejo, P., Searle, A., & Farga, V. (2015). Ensayo Xpert MTB/RIF en el diagnóstico de tuberculosis. *Revista chilena de enfermedades respiratorias*, *31*(2), 127-131.

van Ginneken, B., Philipsen, R. H. H. M., Hogeweg, L., Maduskar, P., Melendez, J. C., Sánchez, C. I., ... &Adetifa, I. M. (2013). Automated scoring of chest radiographs for tuberculosis prevalence surveys: a combined approach. In *Fifth International Workshop on Pulmonary Image Analysis* (pp. 9-19).

Weiss, S., &Kulikowski, C. (1991). Computer systems that learn.

Sistema de gestión de base de datos de salud pública para covid-19

Juárez, Gustavo E.[1]; Lafuente, Cristian H.[1]; Menéndez, Franco D.[1]; Pérez, Jorge [1]; GómezBlessing, Sergio[1];Sánchez, Oscar[1]

(1) Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán.
gjuarez@herrera.unt.edu.ar; clafuente@herrera.unt.edu.ar; fmenendez@herrera.unt.edu.ar; jperez@herrera.unt.edu.ar; sgomezblessing@herrera.unt.edu.ar; osanchez@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN

El presente *trabajo tiene como objetivo crear un sistema que permita gestionar la salud pública de la provincia de Tucumán creando un único sistema en donde se encuentre la información de todos los centros asistenciales pertenecientes a dicha provincia quienes conforman sus pacientes, las enfermedades que padecen y los tratamientos aplicados a los mismos.*

ABSTRACT

The objective of this work is to create a system that allows managing public health in the province of Tucumán by creating a single system where the information of all the healthcare centers belonging to said province who make up their patients, the diseases they suffer from and the treatments applied to them.

Palabras Clave: *Coronavirus - Sistema de Salud Pública - Historial Clínico - Vacunación.*
Keywords: Coronavirus - Public Health System - Clinical History - Vaccination.

1. INTRODUCCIÓN

La salud es considerada como un derecho fundamental e incuestionable en todas las sociedades occidentales. Sin embargo, a lo largo de la historia, el concepto de salud ha ido evolucionando y adquiriendo diferentes significados y funciones en cada sociedad y cultura. Para comprender profundamente las diferentes versiones de la salud y la Salud Pública, es necesario entender las trayectorias socio-históricas que llevaron a su configuración.

En este contexto, y teniendo en cuenta que el sistema actual no contempla la integración de la información distribuida en los distintos puntos de la provinciase propone el desarrollo de un sistema que permita organizar y centralizar toda esta información relacionada con el sistema de Salud Provincial de la provincia de Tucumán. Este sistema incluirá todas las unidades de atención primaria y los hospitales de mayor tamaño. Además, este sistema registrará a todas las personas que ingresan al sistema y mantendrá su historial clínico disponible en todo momento.

La tecnología actual permite procesar de manera más eficiente y efectiva los procesos de organización y centralización. Por lo tanto, se desarrollará una base de datos funcional que permita registrar todo lo relacionado con la pandemia de COVID-19 y el sistema de salud en la provincia, con el fin de mejorar la atención de los pacientes y garantizar el acceso a una atención médica adecuada.

2. ESTADO DEL ARTE

La principal función de las bases de datos es unificar y gestionar los datos de manera independiente a las aplicaciones que los manejan. Antes, los programas se codificaban junto con los datos, lo que generaba una dependencia de los programas respecto a los datos y una redundancia de la información. Con las bases de datos, se busca la independencia de los datos de las aplicaciones, para que puedan ser accedidos por distintas aplicaciones a través de un Sistema Gestor de Bases de Datos (SGBD). El SGBD permite conseguir independencia, integridad y seguridad de los datos, y manipular la información mediante operaciones de

lectura/escritura. Para modelar una base de datos se utiliza el Modelo Entidad-Relación (ME/R), que se basa en entidades que se relacionan entre sí y permite representar el mundo que queremos con un lenguaje más cercano. Una vez modelada la base de datos, se procede a su implementación en un SGBD comercial, obteniendo el esquema lógico. El modelo relacional permite almacenar los datos en relaciones, que son tablas que representan un conjunto de filas o registros y cada uno de estos se compone de un conjunto de campos o atributos. La implementación se realiza en lenguaje SQL, que es un lenguaje declarativo de alto nivel que permite una alta productividad en la codificación y la orientación a objetos. El SQL se divide en dos lenguajes, uno de definición de datos y otro de manipulación de datos, que incluye lenguajes de consulta basados en álgebra y cálculo relacional.

3. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

Como se mencionó anteriormente, la salud es considerada un derecho fundamental e incuestionable en todas las sociedades occidentales. Para facilitar el acceso a los datos de los pacientes por cualquier personal de salud perteneciente a cualquier establecimiento de salud, se desarrolló un sistema integrando una base de datos y una interfaz gráfica. Los objetivos que se tuvieron en cuenta para el desarrollo del sistema fueron la sencillez y eficiencia en la adquisición de la información. Esta información incluye los datos propios de los pacientes, sus síntomas, enfermedades, y en especial, aquellos relacionados con el COVID-19. Para resolver este último, se incluyó información extra sobre si el paciente estuvo recientemente de viaje, de donde proviene, si estuvo en contacto con alguien que tenga la enfermedad, etc.

La base de datos contiene información sobre los testeos que el paciente se realizó, incluyendo lugar, fecha y tipo de testeo. Además, se contempla si las personas son de riesgo o tienen comorbilidades, lo que significa que padecen dos o más trastornos o enfermedades que ocurren en la misma persona. La base de datos también registra si las enfermedades, en especial el COVID-19, poseen variantes, incluyendo sus características y su nombre.

Para obtener información sobre el seguimiento de pacientes con COVID-19, se utilizó el modelo SEIRD (Fig. 1), que contempla los estados del paciente. Además, se contabiliza la cantidad de pacientes fallecidos por la enfermedad y se utilizan las estadísticas para determinar qué zonas de la provincia son críticas.

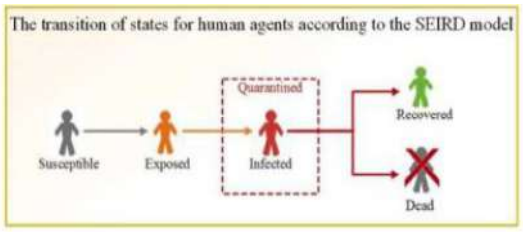


Figura. 1. Modelo SEIRD

El modelo SEIR (una adaptación del modelo SIR, que fue propuesto por W. O. Kermack y A. G. McKendrick en 1927). En una población de tamaño fijo Nen la que se ha desatado una epidemia que se propaga mediante contagio, en un tiempo *t*los individuos pueden estar en cuatro estados distintos:

- Susceptibles: S(t)
- Expuestos: E(t)
- Infectados: I(t)
- Recuperados: R(t)

El modelo SEIR se adapta bien al comportamiento de la epidemia del coronavirus dado que, en esta enfermedad, además de a los susceptibles de ser infectados, a los ya infectados y a los recuperados, conviene también tener en cuenta a los expuestos, esto es, individuos que portan la enfermedad pero que, al hallarse en su periodo de incubación, no muestran síntomas y aún no pueden infectar a otros (hay que ser precisos con lo que estamos denotando: si un individuo no presenta síntomas pero sí puede contagiar a otros lo contabilizamos en I(t), no en E(t)).

El sistema también permite realizar un seguimiento del tratamiento de cada paciente durante y después del COVID-19, de manera que se pueden identificar cuáles son las secuelas en caso de que las posean. Para ello, se consideró importante obtener un historial clínico completo del paciente, en el que se manifiesten las enfermedades previas que hayan dejado alguna secuela en su salud, la existencia de enfermedades hereditarias o genéticas, si posee alguna malformación y cuáles son los contactos directos del mismo.

Para el personal de salud, se requiere conocer como dato adicional el número de matrícula y los

exámenes psicofísicos previos de admisión en los establecimientos. En cuanto a las enfermedades, se utiliza el sistema de codificación CIE10 para la identificación de las mismas, ya que pertenece a la jerga diaria de los médicos.
El sistema desarrollado cuenta con una base de datos única para resolver el problema cotidiano en el sistema de salud actual, donde cada nosocomio y área operativa poseen su propia base de información, lo que hace que una persona atendida en distintos establecimientos tenga más de un historial clínico, muchas veces quedando de manera desactualizada cada uno de ellos. La solicitud para que al paciente le entreguen el historial clínico y lo lleve a otro establecimiento demora varios días, lo que hace que el tratamiento de la persona no sea eficiente. Por lo tanto, el objetivo principal del sistema es tratar la salud de la persona con la mayor rapidez y eficiencia posible.
Además, se busca la modularidad del sistema, para permitir la actualización de módulos en la base de datos sin que afecte al funcionamiento de la misma.

4. ANÁLISIS Y DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

Para desarrollar el sistema, se requiere la creación de modelos que siguen un conjunto de etapas específicas. Estas fases se inician con la abstracción de la información inherente al problema en cuestión. A partir de esta abstracción, se genera el modelo Entidad-Relación de CHEN, donde las entidades representan los elementos destacados durante la abstracción inicial. Posteriormente, estos componentes se transforman en un Modelo Relacional, acompañado de las restricciones pertinentes. Además, se aplica una normalización adicional a la información con el fin de prevenir redundancias.

Una vez completadas estas etapas, donde la información adquiere una claridad total, se procede a la codificación de estos modelos en SQL (StructuredQueryLanguage), el lenguaje estructurado de consulta utilizado en bases de datos.

Los elementos más destacados de las clases son los siguientes:

4.1. Abstracción

La abstracción de datos es una técnica o metodología que permite diseñar estructuras de datos. Consiste en ocultar las características de un objeto y obviarlas, de manera que solamente utilizamos el nombre del objeto en nuestro programa. Esto es similar a una situación de la vida cotidiana, ya que al nombrar al objeto en cuestión conocemos por nuestro sistema de conocimiento todas las características que este posee, por lo cual evita los detalles específicos de implementación de los datos.

Se desarrollan las clases principales las cuales son el paciente, historial clínico, enfermedad, vacuna, medico, enfermero, habitación, planta, hospital.

4.2. Modelo Entidad-Relación

Una vez obtenida la información de los objetos esenciales para resolver el problema, se procede a generar el modelo Entidad-Relación. Este modelo está basado en una percepción del mundo real que consta de una colección de objetos básicos, llamados entidades, y de relaciones entre esos objetos amorfos, los cuales poseen características que lo identifican a cada uno de ellos llamadas atributos. Este modelo fue definido por Peter Chen en 1976. Cuyos elementos son:

- Entidad: En donde Representa una “cosa”, "objeto", o "concepto" del mundo real con existencia independiente.
- Atributos:Son las características que definen o identifican a una entidad.
- Relaciones: Consiste en una colección, o conjunto, de relaciones de la misma naturaleza entre entidades.

Cabe destacar que existen atributos que permiten identificar inequívocamente cada una de las entidades pertenecientes a dicha colección de entidades, estos atributos se los denomina llave o clave Primaria. Esta llave la definiremos en cada una de las entidades con el prefijo de ID_nombre_de_la_Tabla.

Por lo que se presentan de la siguiente manera:

Se crea la entidad HISTORIAL_CLINICO, la cual tiene relación 1 a 1 estricta con cada paciente (es única y obligatoria para cada paciente) y tiene un ID_historial_clinico (llave).

Se crea la entidad VACUNA, tiene los atributos ID_vacunacion (llave), nombre (contiene el

nombre o marca de la vacuna), la enfermedad que trata.

La entidad ENFERMEDAD tiene los atributos ID_enfermedad (llave), nombre científico, nombre común, variante, esta entidad abarca todas las discapacidades, trastornos y enfermedades incluyendo las hereditarias.

SINTOMA los atributos que posee es el ID_sintoma, nombre, característica o afección y se relaciona con las enfermedades.

PACIENTE tiene los atributos comunes de nombre, apellido, domicilio, dni no se considerará al dni como llave ya que una persona de otro país puede tener el mismo dni, ID_paciente (llave), teléfono, nacionalidad, fecha de nacimiento.

HABITACION tiene los atributos de ID_habitacion (número de habitación), características, cama de acompañante, monitoreo.

PLANTA cuyo atributo es ID_planta, tipo, ubicación, en ella se contiene a las habitaciones del nosocomio.

NOSOCOMIO es todo lugar donde se atiende a los pacientes ya sea hospitales, caps, centro de salud público o privados, donde figuran su ID_NOSOCOMIO, dirección, nombre, teléfono y tipo de nosocomio.

MEDICO tiene los atributos nombre, apellido, dni, teléfono, domicilio, nacionalidad, nro de matrícula, fecha de nacimiento.

ESPECIALIDAD tiene los atributos ID_especialidad, nombre, esta se relaciona directamente con cada médico.

TESTEO los atributos característicos son ID_testeo, nombre del test, características del testeo, tipo de testeo.

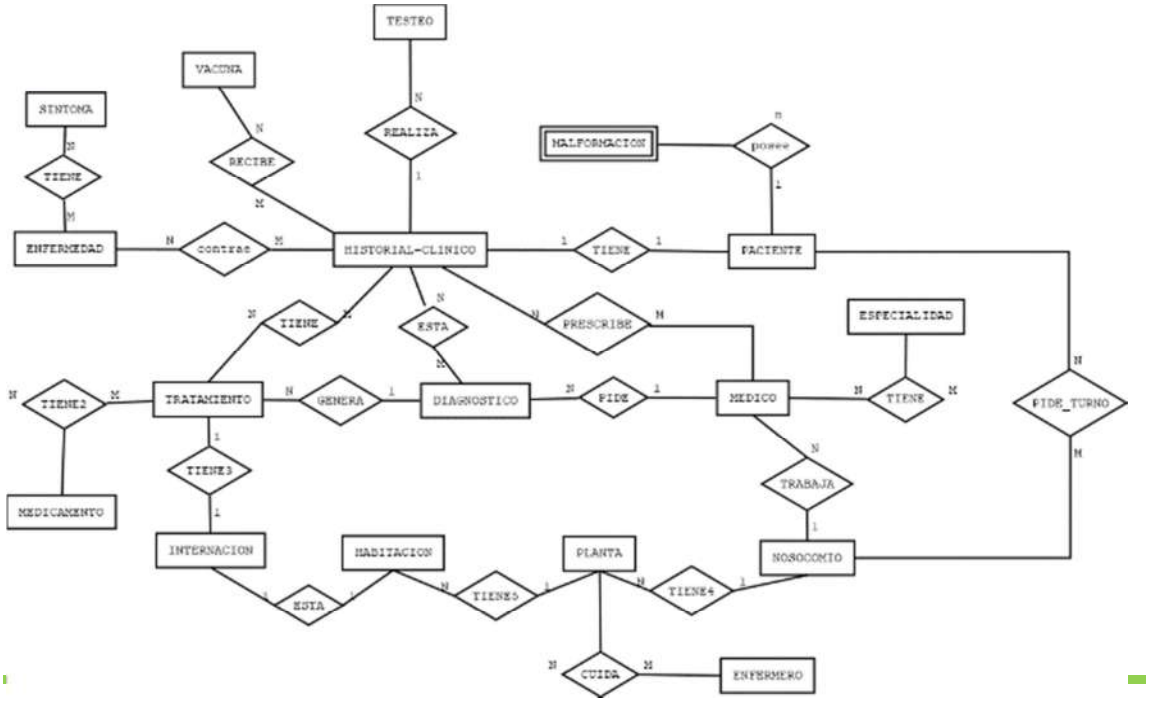
MEDICAMENTO tiene de atributos ID_medicamento, nombre, monodroga, dosis, tipo.

TRATAMIENTO tiene los atributos ID_TRATAMIENTO, nombre del mismo, tipo, detalle.

INTERNACION tiene los atributos ID_internación, nombre, tipo, observación.

DIAGNOSTICO tiene los atributos ID_diagnostico, tipo, cuerpo, nombre.

Figura. 2. Modelo Entidad-Relación de la base de datos.



4.3. Modelo Relacional

A partir del modelo Entidad-Relación, se procede a transformarlo al Modelo Relacional.

El Modelo Relacional es un modelo de datos basado en la lógica de predicados y en la teoría de conjuntos formulado por Edgar Frank Codd en 1970, la cual se basa en relaciones. Estas relaciones se consideran en forma lógica como conjuntos de datos llamados tuplas. Este modelo posee como ventajas garantiza evitar la duplicidad de registros.Garantiza la integridad referencial; así, al eliminar un registro elimina todos los registros relacionados dependientes.Favorece la normalización por ser más comprensible y aplicable.

La transformación del modelo E-R al modelo R, se realiza de la siguiente manera, todas las entidades se transforman en tablas y los atributos en columnas de las tablas, la llave se transforma en la clave principal y las relaciones se transforman en claves foráneas o heredadas que de acuerdo a la relación se pasan de una tabla a otra de la siguiente manera:

- Toda relación N:M se convierte en una tabla que tendrá como clave primaria las dos claves primarias de las entidades que se asocian
- En las relaciones 1:N la clave primaria de la entidad con cardinalidad 1 pasa a la tabla de la entidad cuya cardinalidad es N
- en las relaciones N:M existen tres posibilidades: Si la cardinalidad es (0,1) en ambas entidades, se crea tabla. Mientras que si la cardinalidad de una es (0,1) y de la otra es (1,1) se suele pasar la clave primaria de (1,1) a la de (0,1). Si la cardinalidad de ambas es (1,1) se pasa la clave de cualquiera de ellas a la otra.

4.4. Diccionario de Datos

Un diccionario de datos proporciona una base de datos para almacenar información sobre los elementos de datos, como los nombres de las variables medidas, sus tipos de datos, formatos, longitudes, descripciones de texto y otros detalles necesarios para comprender los datos. Es una herramienta crucial para comprender, gestionar y mantener datos coherentes y precisos.

En el diccionario de datos se remarcará a las claves o llaves con negrita para que sean fácilmente visibles.

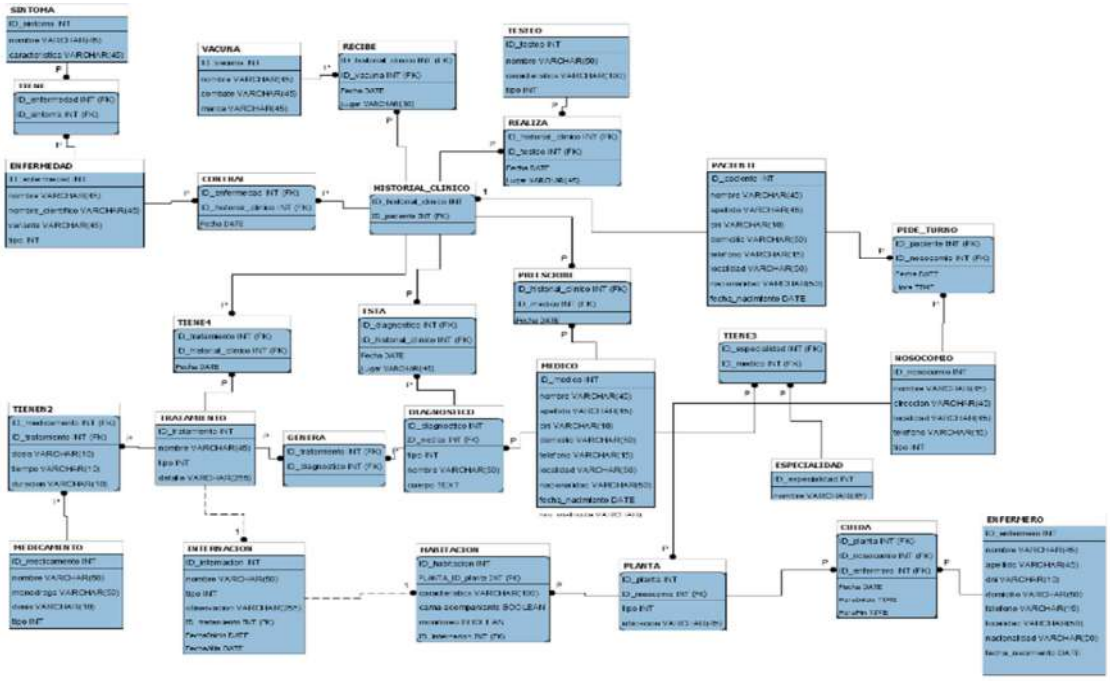


Figura. 3. Modelo Relacional de la base de datos.

Tabla 1. Entidad paciente

PACIENTE			
Nombre	Tipo	Longitud	No Nulo
ID_paciente	**entero**	**8**	**x**
Dni	**entero**	**8**	**x**
Nombre	caracter	45	x
Apellido	caracter	45	x
Domicilio	caracter	50	x
Teléfono	caracter	45	x
Localidad	caracter	50	x
Sexo	caracter	45	x
nacionalidad	caracter	50	x
actividad	caracter	45	x
fecha_nacimiento	date	8	x

Tabla 2. Entidad historial clinico

HISTORIAL_CLINICO			
Nombre	Tipo	Longitud	No Nulo
ID_historial_clinico	**Entero**	**8**	**x**
ID_paciente	**Entero**	**8**	**x**

Tabla 3. Entidad vacuna

VACUNA			
Nombre	Tipo	Longitud	No Nulo
ID_vacuna	**entero**	**8**	**x**
nombre	carácter	45	x
combate	carácter	45	x
marca	carácter	45	x

Tabla 4. Entidad enfermedad

ENFERMEDAD			
Nombre	Tipo	Longitud	No Nulo
ID_enfermedad	**entero**	**8**	**x**
nombre	carácter	45	x
nombre_cientifico	carácter	45	x
variante	carácter	45	x
tipo	entero	8	x

Tabla 5. Entidad síntoma

SINTOMA			
Nombre	Tipo	Longitud	No Nulo
ID_sintoma	**entero**	**8**	**x**
nombre	carácter	45	x
Característica	carácter	45	x

Tabla 6. Entidad médico

MEDICO			
Nombre	Tipo	Longitud	No Nulo
ID_paciente	**entero**	**8**	**x**
Dni	entero	8	X
Nombre	caracter	45	x
Apellido	caracter	45	x
Domicilio	caracter	50	x
Teléfono	caracter	45	x
Localidad	caracter	50	x
Sexo	caracter	45	x
Nacionalidad	caracter	50	x
Actividad	caracter	45	x
fecha_nacimiento	date	8	x
nro_matricula	caracter	15	x

Tabla 7. Entidad especialidad

ESPECIALIDAD			
Nombre	Tipo	Longitud	No Nulo
ID_especialidad	**entero**	**8**	**x**
nombre	carácter	45	x

Tabla 8. Entidad tratamiento

TRATAMIENTO			
Nombre	Tipo	Longitud	No Nulo
ID_tratamiento	**entero**	**8**	**x**
nombre	carácter	45	x
tipo	entero	8	x
detalle	carácter	45	x

Tabla 9. Entidad internación

INTERNACION			
Nombre	Tipo	Longitud	No Nulo
ID_internacion	**entero**	**8**	**x**
nombre	carácter	50	x
tipo	entero	8	x
observacion	carácter	255	
ID_tratamiento	entero	8	x
FechaInicio	día	8	x
FechaAlta	día	8	

Tabla 10. Entidad nosocomio

NOSOCOMIO			
Nombre	Tipo	Longitud	No Nulo
ID_nosocomio	**entero**	**8**	**x**
nombre	carácter	50	x
direccion	carácter	45	x
localidad	carácter	45	x
telefono	carácter	15	
tipo	entero	8	x

Tabla 11. Entidad planta

PLANTA			
Nombre	Tipo	Longitud	No Nulo
ID_planta	**entero**	**8**	**x**
tipo	entero	8	x
ubicación	carácter	45	
ID_nosocomio	entero	8	x

Tabla 12. Entidad habitación

HABITACION			
Nombre	Tipo	Longitud	No Nulo
ID_habitacion	**entero**	**8**	**x**
caracteristica	carácter	100	
cama-acompaniante	booleano	1	x
monitoreo	booleano	1	x
ID_internacion	entero	8	x
ID_planta	entero	8	x

Tabla 13. Entidad testeo

TESTEO			
Nombre	Tipo	Longitud	No Nulo
ID_testeo	**entero**	**8**	**x**
nombre	carácter	45	x
caracteristica	carácter	100	x
tipo	entero	8	x

Tabla 14. Entidad medicamento

MEDICAMENTO			
Nombre	Tipo	Longitud	No Nulo
ID_medicamento	**entero**	**8**	**x**
nombre	carácter	45	x
monodroga	carácter	50	x
dosis	carácter	10	x
tipo	entero	8	x

Tabla 15. Entidad diagnóstico

DIAGNOSTICO			
Nombre	Tipo	Longitud	No Nulo
ID_diagnostico	**entero**	**8**	**x**
nombre	carácter	45	x
cuerpo	texto	500	x
ID_medico	entero	8	x
tipo	entero	8	x

Tabla 16. Entidad tienen2

TIENEN2			
Nombre	Tipo	Longitud	No Nulo
ID_medicamento	**entero**	**8**	**x**
ID_tratamiento	**entero**	**8**	**x**
dosis	carácter	10	x
tiempo	carácter	10	x
duracion	carácter	10	x

Tabla 17. Entidad tiene

TIENE			
Nombre	Tipo	Longitud	No Nulo
ID_enfermeda	**entero**	**8**	**x**

d			
ID_sintoma	**entero**	**8**	**x**

Tabla 18. Entidad contrae

CONTRAE			
Nombre	Tipo	Longitud	No Nulo
ID_enfermedad	**entero**	**8**	**x**
ID_historial_clinico	**entero**	**8**	**x**
fecha	día	8	x

Tabla 19. Entidad recibe

RECIBE			
Nombre	Tipo	Longitud	No Nulo
ID_historial_clinico	**entero**	**8**	**x**
ID_vacuna	**entero**	**8**	**x**
fecha	día	8	x
lugar	carácter	50	x

Tabla 20. Entidad realiza

REALIZA			
Nombre	Tipo	Longitud	No Nulo
ID_historial_clinico	**entero**	**8**	**x**
ID_testeo	**entero**	**8**	**x**
fecha	día	8	x
lugar	carácter	50	x

Tabla 21. Entidad pide_turno

PIDE_TURNO			
Nombre	Tipo	Longitud	No Nulo
ID_paciente	**entero**	**8**	**x**
ID_nosocomio	**entero**	**8**	**x**
fecha	día	8	x
lugar	carácter	50	x

Tabla 22. Entidad tiene3

TIENE3			
Nombre	Tipo	Longitud	No Nulo
ID_especialidad	**entero**	**8**	**x**
ID_medico	**entero**	**8**	**x**

Tabla 23. Entidadpreescribe

PREESCRIBE			
Nombre	Tipo	Longitud	No Nulo
ID_historial_clinico	**entero**	**8**	**x**
ID_medico	**entero**	**8**	**x**
fecha	dia	8	x

Tabla 24. Entidad esta

ESTA			
Nombre	Tipo	Longitud	No Nulo
ID_diagnostico	**entero**	**8**	**x**
ID_historial_clinico	**entero**	**8**	**x**
fecha	dia	8	x
lugar	carácter	50	x

Tabla 25. Entidad tiene4

TIENE4			
Nombre	Tipo	Longitud	No Nulo
ID_tratamiento	**entero**	**8**	**x**
ID_historial_clinico	**entero**	**8**	**x**
fecha	dia	8	x

Tabla 26. Entidad genera

GENERA			
Nombre	Tipo	Longitud	No Nulo
ID_tratamiento	**entero**	**8**	**x**
ID_diagnostico	**entero**	**8**	**x**

Tabla 27. Entidad enfermero

ENFERMERO			
Nombre	Tipo	Longitud	No Nulo
ID_enfermero	**entero**	**8**	**x**
dni	entero	8	x
nombre	caracter	45	x
apellido	caracter	45	x
domicilio	caracter	50	x
teléfono	caracter	45	x

localidad	caracter	50	x
sexo	caracter	45	x
nacionalidad	caracter	50	x
actividad	caracter	45	x
fecha_nacimiento	date	8	x

Tabla 28. Entidad uida

CUIDA			
Nombre	Tipo	Longitud	No Nulo
ID_planta	**entero**	**8**	**x**
ID_nosocomio	entero	8	x
ID_enfermero	entero	8	x
Fecha	día	8	x
HoraInicio	tiempo	4	x
HoraFin	tiempo	4	

5. NORMALIZACIÓN DEL MODELO RELACIONAL

La normalización de bases de datos es un proceso importante en el diseño de bases de datos relacionales que consiste en designar y aplicar una serie de reglas a las relaciones obtenidas tras el paso del modelo entidad-relación al modelo relacional con objeto de minimizar la redundancia de datos, facilitando su gestión posterior. Por lo que se logra Minimizar la redundancia de los datos.Disminuir problemas de actualización de los datos en las tablas.Proteger la integridad de datos.

Se realizó el análisis necesario para determinar que el Modelo Relacional se encuentra normalizado hasta la 3era Forma Normal, y de acuerdo a los requisitos necesarios no se encontró ninguna complicación que pueda implicar el incumplimiento de las normas de la misma.

6. CONCLUSIONES

La implementación de una base de datos para la gestión del sistema de salud pública se revela como un recurso inmensamente ventajoso para los profesionales médicos. Esta herramienta les brinda la capacidad de acceder a información de manera ágil y precisa, simplificando sobremanera las labores encomendadas a las diversas entidades operantes en este ámbito crucial. No obstante, es importante resaltar que la concreción de este sistema conllevó desafíos significativos en cuanto a la recolección, reestructuración, interpretación y normalización de los datos a ser incorporados en el modelo.

Cada institución presentaba datos poco convencionales en el contexto actual, lo cual añadía complejidad a la tarea de incorporar dicha información en los distintos sistemas de almacenamiento. Esta circunstancia, en ocasiones, resultaba tediosa, llevando incluso a algunos a optar por la omisión de ciertos datos o la adopción de parámetros predeterminados. En este sentido, se realizó una cuidadosa selección de los datos a incluir en los modelos finales, priorizando aquellos considerados esenciales y de relevancia.

El resultado de este proceso es la instauración de un estándar único de información para todo el entorno de salud, abarcando tanto el sector privado como el público, lo cual facilita la interpretación de los historiales clínicos individuales de los pacientes. Para mantener la vigencia de la información, la supervisión constante de un administrador de la base de datos se erige como una práctica esencial. Esta medida asegura que la información permanezca actualizada en todo momento, un factor crucial para satisfacer las demandas de diversos sectores, desde médicos que requieren acceso a historiales clínicos, hasta aquellos encargados de la asignación de pacientes y su posible derivación.

Adicionalmente, esta herramienta provee a las autoridades epidemiológicas acceso a información vital para la gestión de situaciones pandémicas como el COVID-19. Esto les permite tomar decisiones informadas y pertinentes en tiempo real. La utilidad de la base de datos trasciende incluso la gestión de esta pandemia, permitiendo la obtención de información relevante sobre cualquier enfermedad emergente, lo que habilita la adopción de medidas preventivas o de contención específica y adecuada a cada situación. En resumen, la adopción de esta base de datos no solo optimiza la gestión de la pandemia COVID-19, sino que también fortalece la capacidad del sistema de salud para enfrentar futuras eventualidades epidemiológicas en la provincia.

7. REFERENCIAS

Spona H (2010) *Programación de Bases de Datos con MySQL y PHP* Edit. Alfaomega.

Argentina (s.f.) Nuevo Coronavirus COVID-19. Recuperado el 01 de Abril del 2020. De https://www.argentina.gob.ar/salud/coronavirus-COVID-19

Argentina.(2020).*Decreto de Necesidad y Urgencia 297/2020*. Boletín Oficial de la República Argentina.

Ahuad, A., Paganelli, A., Palmeyro, A., (1999). *Medicina Prepaga. Historia y futuro*. Buenos Aires: Ediciones Isalud.

Belmartino, S. (2005). *La atención médica argentina en el siglo XX, instituciones y procesos*. Buenos Aires: Siglo XXI.

Ministerio de Salud Pública, Gobierno de Tucumán (s.f.), Coronavirus COVID-19. Recuperado 24 de Abril de 2020. De https://msptucuman.gov.ar/

Gobierno de Tucumán (s.f.) Sistema Estadístico Provincial. Recuperado 06 de Mayo de 2020 de https://www.tucuman.gob.ar/coronavirus/

Qianying Lin, Shi Zhao, Daozhou Gao, Yijun Lou, Shu Yang, Salihu S. Musa, Maggie H. Wang, Yongli Cai, Weiming Wang, Lin Yang, DaihaiHe.(2020). *A conceptual model for the coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak in Wuhan, China with individual reaction and governmental action*, International Journal of Infectious Diseases 93 (2020), 211–216.

Orbalenya, A. E.; Baker, S. C.; Baric, R. S.; de Groot, R. J.; Drosten, C.; Gulyaeva, A. A.; Haagmans, B. L., Lauber, C., Leontovich, A. M., Neuman, B. M., Penzar, D., Poon, L. L. M., Samborskiy, D., Sidorov, I. A., Sola, I., Ziebuhr, J. (2020). Severe acute respiratory syndrome-related coronavirus: The species and its viruses – a statement of the Coronavirus Study Group. bioRxiv (eninglés).

Peter Chen Pin-Shan. (1976). *The Entity-Relationship Model--Toward a Unified View of Data,* ACM Transactions on Database Systems ACM-Press, ISSN 0362-5915, pp. 9–36.

Codd, E.F. (1970). *A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks*. Communicationsofthe ACM 13 (6): 377-387

Silberschatz, Kortz, sudarshan . (2006).*Fundamentos de Base de Batos*. Mac GrawHill

Reinosa et al. (2012). Bases de datos. Edit. Alfaomega. 1era. Edic.

HelmaSpona. (2010). Programación de Bases de Datos con MySQL y PHP. Edit. Alfaomega.

Korenke, D. (2003). Procesamiento de bases de datos. fundamentos, diseño e implementación. Pearson Educación. México.

Beneficios de aplicar elementos de gamificación en comercio electrónico B2C dePyMEs.

Lazarte, Ivanna Maricruz[1]; Haustein, María Carolina[1];Granados Pemberty, Elizabeth[2]; Benavides Chaguëndo, Juan Manuel[2]; Marín Sevillano, Richard[3]

(1) Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional de Catamarca, Argentina
ilazarte@tecno.unca.edu.ar; caro-h@tecno.unca.edu.ar;

(2) Facultad de Ingeniería. Universidad de Ibagué, Colombia.
elizabeth.granados@unibague.edu.co
juan.chaguendo@unibague.edu.co

(3) Universidad de Huánuco, Perú.
richard.marin@udh.edu.pe

RESUMEN

El comercio electrónico brinda la oportunidad a las empresas de conectarse globalmente con sus clientes empleando Internet; lo que lleva a nuevas formas de mostrar productos y/o servicios y entrar a nuevos mercados. Al tener esta oportunidad, las pequeñas y medianas empresas se dan a conocer a través de las ventas directas con el consumidor final, aunque surgen dificultades tales cómo atraer y mantener a los clientes en sus plataformas comerciales, haciendo que estas empresas frecuentemente deban innovar y crear otras formas de conocer, retener y comunicarse con sus clientes.

Una solución prometedora para superar estas dificultades es la gamificación, una técnica que las empresas comenzaron a utilizar en sus Plataformas Web para aumentar la experiencia, el compromiso y la tasa de retención del cliente, creando entornos divertidos, desafiantes y persuasivos, que lleven al cliente a comprometerse con la marca, alejándolos de la competencia.

Este trabajo se enfoca en descubrir los beneficios de aplicar elementos de gamificación en las Plataformas Web de comercio electrónico de pequeñas y medianas empresas para la atracción y retención de clientes.

ABSTRACT

Electronic commerce gives companies the opportunity to connect globally with their customers using the Internet, which leads to new ways to showcase products and / or services and to enter new markets. By having this opportunity, small and medium-sized enterprises, become known through direct sales to the end consumer, although difficulties arise such as how to attract and keep customers on their trading platforms, leading to companies often have to innovate and create other ways to meet, retain and communicate with their customers.

One promising solution to overcome these difficulties is gamificationa technique that companies have started to use in their Web Platforms to increase the experience, engagement and customer retention rate, creating fun, challenging and persuasive environments that lead the customer to engage with the brand, distancing them from the competition.

The objective of this work focuses on discovering the benefits of applying gamification elements in B2C e-commerce, in order to propose its inclusion in the Web platforms of small and medium-sized companies, improving customer attraction and retention.

Palabras claves: Gamificación - Comercio Electrónico - PyMEs- Beneficios

Keywords:Gamification - e-Commerce - SMEs- Benefits

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la gamificación ha ganado popularidad como una herramienta innovadora y prometedora que utiliza elementos de juego en contextos no lúdicos (Deterding et al, 2011).Esto ha llevado a que sea adoptada por múltiples ámbitos y sectores, desde el marketing hasta la educación, el medio ambiente y la salud. Esta estrategia ha demostrado su eficacia en la mejora del compromiso, la motivación y el aprendizaje de los usuarios, y se ha extendido al comercio electrónico B2C como una táctica para atraer y fidelizar clientes en las plataformas de venta en línea(García-Jurado, 2017; Muntean, 2011; Zichermann& Cunningham, 2011).

Las técnicas de gamificación aplicadas en plataformasWeb de comercio electrónico B2C son muy efectivas para mejorar la experiencia del usuario. Al agregar elementos de juego, como puntos, medallas y tablas de clasificación, se puede motivar a los usuarios a interactuar más con la página y aumentar su compromiso con la marca. Los usuarios también pueden sentirse más motivados para dejar comentarios y reseñas sobre los productos, lo que puede aumentar la confianza de los clientes potenciales y mejorar la conversión, aumentar el compromiso de los usuarios con la plataforma y promover el crecimiento de las ventas (Yu, 2022).Además, la implementación de la gamificaciónpuede fomentar la lealtad del usuario al ofrecer recompensas y descuentos exclusivos a aquellos que interactúan más con la página(García-Jurado, 2017).

Aunquela gamificación suele tener efectos positivosen el comercio electrónico B2C, la inclusión de elementos de juego no garantizaautomáticamente un aumento en la actividadde los clientes en las Plataformas Web.Por esta razón,es necesario investigar qué prácticas o estrategias emplean los vendedores en sus Plataformas Web de comercio electrónico para alcanzar niveles más altos de compromiso por parte de los consumidores. Asimismo, es esencial determinar en qué medida la gamificación puedegenerar un impacto positivo en la intención de compra de los consumidores.

2. RELEVANCIA DEL PROBLEMA

En los últimos años, el comercio electrónico ha experimentado un abrupto crecimiento debido a las medidas de bloqueo derivadas del brote de COVID-19, convirtiéndose en un factor clave para impulsar las economías de numerosos países (García-Jurado, 2021). De acuerdo con Statista ResearchDepartment (2022), las ventas de comercio electrónico B2C en América Latina registraron un valor de aproximadamente 68 mil millones de dólares estadounidenses en 2020 y estiman que para el 2025 esta cifra podría ascender a unos 160 mil millones de dólares, lo que implicaría un incremento de casi 88% en relación al 2020.

Por otro lado, el comercio electrónico B2C ha influido en la transformación de ciertos comportamientos de consumo, introduciendo un horizonte de nuevas posibilidades que pueden hacer que las compras sean aún más adictivas, divertidas y emocionantes, más si se efectúan desde la comodidad del hogar, lo que hace que se aumente la fidelización del cliente al influir positivamente en la dependencia a la marca (Campuzano et al, 2021). En este contexto, la gamificación emerge como un valioso recurso, potenciando la experiencia de compra y generando una sensación positiva en el usuario respecto a sus elecciones, siempre y cuando se implementen estrategias de persuasión ética. Estas estrategias ejercen influencia en el subconsciente de las personas, instigando cambios en actitudes y comportamientos, sin recurrir a manipulación alguna (Fogg, 2003).

La implementación de la gamificación en el comercio electrónico B2Cha impulsado de manera significativa las ventas y las conversiones, logrando aumentos de dos a tres dígitos.Además, ha sido un factor determinante para permitir que algunas plataformas Web comerciales se conviertan en negocios de mil millones de dólares(Chou, 2021). Muchas de ellas, lo logran al brindar estímulos que aportan valor al hacer que los clientes se sientan bien con la marca (Campuzano, 2021), lo que se puede adaptar perfectamente a la forma de trabajo de la gamificación.

Aunque existen numerosasinvestigaciones sobre la implementaciónde la gamificación en el comercio electrónico B2C, todavía faltan estudios que proporcionen evidencia del impacto de la gamificación en los comportamientos deseables de los consumidores B2C, específicamente en la intención de compra, considerando la aplicación ética de la persuasión para guiar a los clientes hacia decisiones fundamentadas en sus necesidades genuinas, evitando influencias manipulativas.Por esta razón, identificar los componentes de la gamificación que ejercen una influencia positiva en la intención de compra de los consumidores B2Cpodría resultar de gran ayuda para las PyMEsdedicadas al comercio electrónico B2C.Esto permitiría que mejoren sus Plataformas Web, persuadiendo a sus clientes para adquirir sus productos y/o servicios.Así, lasPyMEspodrían obteneruna ventaja competitiva en un mercado que ha sido impactado por la nueva normalidad establecida debido a la pandemia de COVID-19.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 *Comercio electrónico (e-commerce)*

Según la investigación de Jain et. al. (2021), el comercio electrónico (*e-commerce*), se refiere a la realización de transacciones comerciales a través de medios electrónicos, tales como redes de computadoras, internet y otras tecnologías de información y comunicación (TIC). Incluye la compra y venta de bienes y servicios, transferencia electrónica de fondos, intercambio electrónico de datos, marketing en línea, entre otros procesos comerciales.

El modelo de negocio más común aplicado al comercio electrónicoes el de empresa a consumidor (*Business-to-Consumer*, B2C), en donde una empresa vende productos o servicios directamente a los consumidores finales a través de un sitio Web o plataforma en línea. La empresa es responsable de todo el proceso de venta(desde la presentación del producto o servicio en línea hasta la entrega al consumidor final) y el consumidor realiza el pago a través de medios electrónicos, como tarjetas de crédito o sistemas de pago en línea. Este modelo ha ganado popularidad en los últimos años debido a la comodidad y accesibilidad que ofrecea los consumidores para realizar compras en línea desde cualquier lugar y en cualquier momento.

3.2 *Gamificación*

Desde hace milenios, los seres humanos han disfrutado de los juegos como una de las formas más antiguas de interacción social. La literatura relevante ha proporcionado varias definiciones de lo que se considera un juego. Según Salen y Zimmerman (2004), un juego es un sistema en el que los jugadores participan en un conflicto artificial definido por reglas que dan lugar a un resultado cuantificable. Juul (2003) y Seaborn y Fels (2015) también han identificado características comunes en los juegos, como reglas, estructuras, juego voluntario, esfuerzo del jugador, inversión del jugador, resultados cuantificables, conflicto y resolución de problemas.

Derivado del concepto de juego, surge la gamificación que es un término acuñado por primera vez en 2002 por Nick Pelling. Sin embargo, no fue hasta 2010 que se popularizó ampliamente. Cabe destacar queno existe una definición universal de gamificación, pero la aceptadapara este artículoes la de Deterding et al. (2011), que expresa: la gamificación es el uso de elementos de diseño de juegos en contextos que no son lúdicos o en negocios para generar compromiso de los usuarios con las marcas o tener una interacción directa con los clientes fortaleciéndola (Barros-Pozo, 2021). Su propósito es motivar y dirigir determinados comportamientos de los individuos para lograr objetivos y resultados específicos (Huseynov, 2020).

Los contextos en los que se está investigando y aplicando la gamificación incluyen la educación, la salud, el marketing, los recursos humanos, las redes sociales, las plataformas digitales, entre otros, demostrando el impacto significativo de estas técnicas, en el comportamiento humano. Según señalan Bittner y Shipper(2014), la gamificación puede provocar reacciones emocionales y cognitivas en las personas, como adicción, percepción de utilidad, disfrute y curiosidad.

Es importante señalar que la gamificación no pretende transformar un negocio o sitio Web en un juego. Más bien, busca aplicar el conocimiento de los deseosbásicos del humano que hacen que

las personas disfrutende los juegos en un entorno no lúdico, con el objetivo de mejorar el rendimiento y los resultados de un negocio (Harris, 2014).

3.3 *Descripción de los elementos de gamificación*

Los componentes fundamentales de las aplicaciones o plataformasgamificadas, son los elementos de diseño de juegos o más comúnmente denominados elementos de gamificación. Su implementación puede variar en diferentes contextos y su éxito dependerá de la adecuada selección y aplicación de los mismos (Huseynov, 2020).

Existe una gran variedad de elementos de gamificación. Entre los más utilizados se encuentran los puntos, las insignias, los niveles, las tablas de clasificación, los gráficos de rendimiento, las historias, los avatares, las monedas virtuales, la personalización, las tareas, las funciones de redes socialesy los compañeros de equipo (Huseynov, 2020).Otros elementos, son los aportados por Vashisht(2017), los cuales se resumen en los puntos, las insignias y las tablas de clasificación, quese conocen como PBL (por sus siglas en inglés: *Points, Badges, Leaderboards*). Estos elementos se utilizan para motivar y recompensar a los usuarios, así como para fomentar la competencia y el compromiso.Werbach y Hunter (2012), afirman que la tríada PBL es utilizada en la mayoría de las aplicaciones comerciales gamificadas.

En la Tabla 1 se describenalgunos de estos elementos de juegos mencionados.

Tabla 1. Descripción de algunos de los elementos de gamificación más utilizados(Huseynov, 2020)

Elemento	Descripción
Puntos	Suelen acumularse como resultado de la ejecución satisfactoria de determinadas actividades y muestran numéricamente el progreso. Pueden ser de experiencia, canjeables o reputación y brindan información sobre el rendimiento del usuario.
Insignias	Son representaciones visuales de los logros del usuario. Se obtienen al completar actividades específicas o acumular una cantidad determinada de puntos. Sirven para mostrar el progreso y el rendimiento del usuario.
Niveles	Muestran el progreso del usuario y pueden ser alcanzados mediante la acumulación de puntos y el cumplimiento de objetivos específicos. El avance en los niveles puede ser un incentivo para superar desafíos más difíciles y lograr mayor satisfacción.
Tablas de clasificación	Clasifican a los usuarios según su éxito relativo y se miden con respecto a un criterio de éxito. Fomentan la competencia y crean una presión social que puede aumentar la participación y el aprendizaje de los usuarios.
Avatares	Representan visualmente a los usuarios. Suelen ser elegidos o diseñados por los usuarios. Sirven para identificar y diferenciar a los usuarios de los demás.
Monedas virtuales	Se obtienen completando con éxito actividades y tareas. Pueden utilizarse para comprar objetos virtuales.
Gráficos de rendimiento	Proporcionan información sobre el rendimiento del jugadora lo largo del tiempo. No se compara con el rendimiento de otros usuarios.
Misión	Es una tarea que los usuarios completan para obtener una recompensa determinada.

3.4 *La gamificación y la motivación del usuario*

La gamificación ha sido investigada en diversos ámbitos con el propósito de entendercómo puede influir en la motivación de las personas yen la realización de comportamientos dirigidos

haciaobjetivos específicos establecidos por su implementador.

Uno de los principales marcos teóricos adoptados en muchos estudios sobre gamificación es la Teoría de la Autodeterminación presentada por Deci y Ryan (2008), que propone un marco teórico para comprender la motivación humana y su relación con la salud y el bienestar. Esta teoríadestaca la importancia de satisfacer tres necesidades psicológicas innatas de los individuos (autonomía, competencia y relación),con el fin defomentar la motivación intrínseca y promover un comportamiento sostenible a largo plazo. En la gamificación, esto se puede lograr mediante el diseño de mecánicas de juego que ofrezcan a los usuarios un sentido de autonomía, oportunidades para mejorar sus habilidades y la posibilidad de interactuar con otros usuarios de manera significativa.

Según la Teoría de la Autodeterminación, existen dos tipos de motivación: la motivación intrínseca y la motivación extrínseca.La motivación intrínseca se refiere a la motivación que surge de la satisfacción personal y el interés propio en la actividad en sí misma. Los individuos se sienten naturalmente atraídos por ciertas actividades que les resultan interesantes o desafiantes. En el contexto de la gamificación, esto se traduce en el disfrute y la satisfacción que experimentan los usuarios al participar en las mecánicas de juego.Por otro lado, la motivación extrínseca,hace referencia a la motivación que surge de factores externos, como las recompensas o la presión social, que se puede lograr con la gamificación, mediante el uso de recompensas tangibles, como puntos, insignias o premios.

Paracomprender cómo influir en la motivación de las personas,también se utiliza el modelo de Flogg (2009), que sostiene que tres factores son necesarios para inducir un cambio de comportamiento en un individuo: motivación, habilidad y disparador. La motivación es el deseo de realizar una acción, la habilidad es la capacidad de realizarla y el disparador es el estímulo que activa la acción. El modelo de Fogg se puede aplicar en gamificación para diseñar experiencias que persuadan a los usuarios a adoptar comportamientos deseados mediante el uso de mecanismos lúdicos.

Otra teoría muy importante en relación con la gamificación es la teoría del flow, propuesta por el psicólogo Csikszentmihalyi (1975), la cual describe un estado mental en el que una persona está completamente absorta en una actividad, sintiéndose plenamente inmersa en ella y disfrutando de la experiencia. En este estado, la persona experimenta un alto nivel de concentración y un sentimiento de controlsobre la situación. Para alcanzar el flow, la actividad debe ofrecer un equilibrio entre el nivel de habilidad de la persona y el nivel de desafío que presenta la tarea, tratando de diseñar experiencias que involucren a los usuarios y los mantengan motivados y comprometidos.

3.5 *La gamificación en el comercio electrónico B2C*

Diversos estudios han demostrado que la gamificación tiene una influencia significativa en el comportamiento de los consumidores de comercio electrónico B2C, mejorando la experiencia de usuario y aumentando su interés en las páginas, la motivación por interactuar y el compromiso con la marca, lo que se traduce en una mayor retención y fidelidad hacia la marca o plataforma en línea.

Según Deterding (2011b), cuando las empresas implementan la gamificación en sus plataformas, buscan lograr un impacto positivo en el comportamiento de compra de los consumidores, construir relaciones interpersonales, iniciar la creación de valor y generar lealtad por parte de los clientes. Una de las formas en que se puede constatar lo anterior, es el estudio de Sukmaningsih(2020) llevado a cabo en Shopee, uno de los principales sitios de comercio electrónico de Indonesia, en donde se evaluó el impacto de la gamificación en diferentes generaciones (generación X vs. Millennials). Los resultados mostraron que la generación X percibía la gamificación como una forma de hacer más útil el sistema, mientras que los Millennials, consideraban que la jugabilidad y la influencia social tenían un buen impacto en la actitud y un impacto indirecto en la intención de compra. Estos hallazgos sugieren que la gamificación puede ser una herramienta efectiva para atraer a diferentes grupos demográficos y mejorar su experiencia de usuario.

Otro estudio es el realizado por Zhang et. al (2021) quien analizólos efectos de dos mecanismos de gamificación (recompensas y

medallas) sobre la compra impulsiva en línea durante el festival de compras "Doble Once" en China, en función del sexo y la edad. En este estudio, encontraron que a los hombres y a los usuarios más jóvenes les gustaban los mecanismos de gamificación relacionados con los logros (por ejemplo, la obtención de insignias), mientras que a las mujeres y a los usuarios de más edad les atraían más los mecanismos de gamificación relacionados con la economía (por ejemplo, la concesión de recompensas).

En el estudio realizado por Mederet. al (2018), se analizó el impacto de la gamificación en el comercio electrónico y se compararonlas eficacias de las recompensas tangibles(por ejemplo, descuentos, cupones, productos gratuitos, entre otros) frente a las intangibles(por ejemplo, insignias, puntos). Según los resultados, la gamificación tuvo un impacto positivo en el comercio electrónico, aumentando la participación y la satisfacción de los usuarios; las recompensas tangibles incrementaron la actividad de los usuarios significativamente más que las recompensas intangibles, llegando a tenerun efecto duradero en el comportamiento de los usuarios, incluso después de que la gamificación fuera retirada.

3.6 *La gamificación y algunos beneficios al ser utilizada en comercio electrónico B2C*

La gamificación utilizada dentro de las páginas de comercio electrónico B2C, ha sido enfocada para generar lealtad y aumentar la actividad de los usuarios como es el caso de Amazon y eBay, teniendo en cuenta que se pueden hacer cualquier cantidad de proyecciones al analizar la interacción de los usuarios a través de comentarios, visitas, usuarios activos, entre otros (García et al, 2019); lo cual trae beneficios para el estudio de la importancia de los bienes o servicios a partir de la retroalimentación que se recibe de los usuarios.

También se ha podido observar que uno de los beneficios que aporta el uso de la gamificación en el comercio electrónico B2C, se genera a través del aumento en la revisión que hacen los usuarios de las páginas de algunasmarcas como es el caso de Samsung Nationque pasó a tener un 500% más de revisiones desde que utilizó gamificación en su sitio de comercio electrónico e incrementó las revisiones de sus productos en un 500% y las visitas al sitio web en un 66%. Otros beneficios se observan además en los tráficos de las páginas como le ocurrió a Telefloraquien lo aumentó en un 105% y los ratios de conversión en un 92% o, a IBM,quien aumentó el compromiso de los usuarios con la marca al incrementar en un 299% los comentarios realizados por ellos sobre sus productos (García, 2019).

Otras empresas han utilizado la gamificación para mejorar la experiencia del cliente y acumular estrellas como lo hace Starbucks, obteniendo productos extras por las estrellas que vayan sumando (Xin et al, 2017).

Continuando con beneficios de la utilización de la gamificación para el comercio electrónico, hay una realidad que se centra en que las compras por internet ya no son tan divertidas como se hacían anteriormente, así se fuera a una tienda y no se comprara nada. Esto ha llevado a que ventas por comercio electrónico deban ser lúdicas y un ejemplo de ellas es el comercializador minorista Woot quien ofrece un producto por día a precio especial hasta agotar el producto, incentivando a que las personas se conecten desde las 11:59 pm para ver el producto que publican a las 12:00 am y adquirirlo si es de su interés(Chou, 2023).

4 DISCUSIÓN

A partir del análisis de la literatura científica sobre gamificación en el comercio electrónico B2C que puedan ayudar a las PyMEs a lograr una mejora competitiva en el mercado, se destaca la importancia de adaptar la experiencia gamificada a las características del público objetivo, ya que los elementos que funcionan con un grupo de clientes pueden no ser efectivos con otros. Otro punto clave es el uso de elementos de gamificación que permitan fomentar la participación y el compromiso de los clientes, lo que puede traducirse en un aumento de la lealtad, la retención y las ventas. Además, es necesario diseñar una experiencia gamificada que sea coherente con la identidad y los valores de la PyMEs, que sea divertida y desafiante para los clientes y que ofrezca recompensas adecuadas y equilibradas, teniendo en cuenta el tipo de cliente objetivo.

A continuación, se describen algunos de los beneficios de la gamificación en el comercio electrónico B2C, que pueden ayudar a las

PyMEsa lograr una mejora competitiva en el mercado:

Fidelizar a los clientes*:* La gamificación permite generar vínculos emocionales con los clientes, asociando el comercio electrónico con valores positivos como la diversión, el reto o la recompensa. Esto puede aumentar la lealtad, la satisfacción y la repetición de compra por parte de los clientes.

Aumentar las ventas: La gamificación puede incentivar el consumo del cliente, al ofrecer incentivos como: puntos, descuentos, premios o reconocimiento social. Estos incentivos pueden estimular el deseo, la curiosidad y la competencia de los clientes, impulsando así las conversiones.

Diferenciarse de la competencia: La gamificación puede aportar un valor añadido al comercio electrónico, al crear una propuesta única y diferencial que capte la atención de los clientes y los haga sentir parte de una comunidad. Esto puede mejorar la imagen de marca y la fidelidad de los clientes.

Educar a los clientes: La gamificación puede servir como una herramienta para informar, enseñar o sensibilizar a los clientes sobre los productos, servicios o valores del comercio electrónico, lo cual aumenta el conocimiento, la confianza y el compromiso de los clientes.

Generar datos de análisis: La gamificación puede generar datos de análisis útiles acerca del comportamiento y las preferencias de los clientes. Los datos generados por los elementos de juego pueden ser utilizados por las PyMEs para entender mejor a sus clientes y mejorar laoferta de productos y servicios con miras a enfocarse en el cliente final.

5 CONCLUSIONES

Este artículo contribuye a la comprensión de varios elementos de gamificación y beneficios para las empresas de comercio electrónico, especialmente las PyMEs, ya que presenta un compendio de lo importante que es aplicar la gamificación en áreas tales como el comercio electrónico B2C.

La gamificación puede ser una herramienta valiosa para mejorar la experiencia del cliente y aumentar la participación y fidelidad del cliente de las PyMEsconcomercio electrónico B2C. Sin embargo, como cualquier otra estrategia empresarial, la gamificación debe ser implementada de manera cuidadosa y estratégica, teniendo en cuenta los objetivos que se quieren alcanzar con el cliente específico de la empresa. Además, se deben considerar los elementos y mecánicas de juego adecuados y las recompensas equilibradas para que la gamificación tenga el efecto deseado en el negocio.

En resumen, la gamificación puede ser una estrategia muy útil para mejorar la competitividad de las PyMEs en el mercado del comercio electrónico B2C, siempre y cuando se implemente de manera adecuada y estratégica, analizando muy bien el tipo de cliente y el objetivo que se quiere lograr con la página Web.

6 REFERENCIAS

Bittner, J. V., & Shipper, J. (2014). Motivational effects and age differences of gamification in product advertising. *Journal of Consumer Marketing*, 31(5), 391–400.

Barros-Pozo, D. S. (2021). Gamificación: Reflexionesteóricasdesdeelenfoqueempresarial. Religación Revista de Ciencias Sociales y Humanidades 6(27):197-210. DOI:10.46652/rgn.v6i27.766.

Campuzano, R. J., Castro, G. H. & Figueroa, M. A. (2021). Libro blanco de comercio electrónico Colombia. Una guía adaptada a las mipymes colombianas. *Universidad EAN*, 111-112.

Chou, Y. K. (2023). The 10 besteCommerce and shopping examplesthat use Gamification. Recuperado de https://yukaichou.com/gamification-examples/top-10- ecommerce-gamification-examples-revolutionize-shopping/.

Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2008). Self-Determination Theory: A macro theory of human motivation, development, and health. *Canadian Psychology*, 49(3), 182–185.

Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., &Nacke, L. (2011a). From game design elements to gamefulness: defining "gamification". In *Proceedings of the 15th international academic MindTrek conference: Envisioning future media environments* (pp. 9-15).

Deterding, S., Sicart, M., Nacke, L., O'Hara, K., & Dixon, D. (2011b). Gamification. Using game-design elements in non-gaming contexts.

CHI'11 extended abstracts on human factors in computing systems (pp. 2425–2428).

García, J. A, Enfoques metodológicos para medir el efecto de la gamificación en la intención de uso del comercio electrónico: Aplicación al mercado español. (2019). Universidad de Córdoba. 25-.

Harris, S., & O'Gorman, K. (2014). Mastering gamification: customer engagement in 30 days. Impackt Pub.

Huotari, K., Hamari, J. (2012). Defining gamification: a service marketing perspective. In: *Proceeding of the 16th international academic MindTrek conference*. pp. 17–22.

Huseynov, F. (2020). Gamification in e-commerce: Enhancing digital customer engagement through game elements. In *Digital innovations for customer engagement, management, and organizational improvement* (pp. 144-161). IGI Global.

Jain, V., Malviya, B., & Arya, S. (2021). An overview of electronic commerce (e-Commerce). *Journal of Contemporary Issues in Business and Government*. Vol, 27(3), 666.

Juul, J. (2003). The game, the player, the world: Looking for a heart of gameness. In M. Copier & J. Raessens (Eds.), *Proceedings of Level-Up: Digital games research conference* (pp. 30–45). Utrecht, Netherland: University of Utrecht.

Salen, K., & Zimmerman, E. (2004). *Rules of play: Game design fundamentals*. Cambridge, MA: MIT Press.

Seaborn, K., & Fels, D. I. (2015). Gamification in thoery and action: A survey. *International Journal of Human-Computer Studies*, 74, 14–31.

Sukmaningsih, D. W., Wandoko, W., &Panggati, I. E. (2020). Gamification effect between generation x and millennials: Study on e-commerce site. In 2020 *International Conference on Information Management and Technology* (ICIMTech) (pp. 812-817). IEEE.

Vashisht, D., & S, S. (2017). Effect of nature of the game on ad-persuasion in online gaming context. *Internet Research*, 27(1), 52–73.

Xin, O. W., Zuo, L., Iida, H., y Aziz, N. (2017). Gamification Effect of Loyalty Program and Its Assessment Using Game Refinement Measure: Case Study on Starbucks. In International Conference on Computational Science and Technology (pp. 161-171). Springer, Singapore.

Yu, N., & Huang, Y. T. (2022). Why do people play games on mobile commerce platforms? An empirical study on the influence of gamification on purchase intention. *Computers in Human Behavior*, 126, 106991.

Zhang, L., Shao, Z., Li, X., & Feng, Y. (2021). Gamification and online impulse buying: The moderating effect of gender and age. International *Journal of Information Management*, 61, 102267.

CIENCIAS DE LA TIERRA

Alternativas para el diseño de una red de apoyo para georreferenciación de parcelas en Santiago del Estero

Ayunta, Leonel[1];Goldar, Eduardo[1] Gulotta, Jose[1];Gerez, Gonzalo[1]; Moya, Joel[1]

(1) Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero. leonelayunta@hotmail.com; jegoldar@unse.edu.ar; jgulotta@unse.edu.ar; gongerez@gmail.com;moyajoel.a@gmail.com

RESUMEN

La georreferenciación de parcelas de superficie mayor a 5 has. es exigible en Santiago del Estero desde 2018. Existiendo inconvenientes en algunas de estas operaciones por el excesivo tiempo que en ocasiones insumen y, sumado a esto, los resultados no satisfactorios que a veces requieren una nueva medición. El problema se debe, en gran parte, a que las 5 Estaciones permanentes, de la red RAMSAC con que cuenta nuestra provincia, más algunas ubicadas en provincias limítrofes, no alcanzan a cubrir el extenso territorio provincial, requiriendo mayores tiempos de observación y/o la utilización de equipos GNSS doble frecuencia que son más costosos. Para subsanar estos problemas presentamos alternativas para el diseño de una red de apoyo para georreferenciación de parcelas, sobre la base de la antigua red de Referencia Cartográfica y Catastral de la Provincia de Santiago del Estero; lo cual permitirá contar con puntos de apoyo alternativos, vinculados a Posgar'07, acortando de esta manera, distancias de vinculación y tiempos de observación, así como su uso para vincular obras de ingeniería civil.

ABSTRACT

The georeferencing of plots, with a surface area greater than 5 hectares, is required in Santiago del Estero since 2018. There are drawbacks in some of these operations due to the excessive time that they sometimes take and, added to this, the unsatisfactory results that sometimes require a new measurement. The problem is due, in large part, to the fact that the 5 permanent Stations of the RAMSAC network that our province has, plus some located in neighboring provinces, do not cover the extensive provincial territory, requiring longer observation times and/or the use of more expensive dual-frequency GNSS equipment. To correct these problems, we present alternatives for the design of a support network for georeferencing parcels, based on the old network of Cartographic and Cadastral Reference of the Province of Santiago del Estero; which will allow having alternative support points, linked to Postgar'07, thus shortening linking distances and observation times, as well as its use to link civil engineering works.

Palabras claves: georreferenciación- GNSS- redes catastrales- tiempos

Keywords: georeferencing- GNSS- cadastral networks- times

1. INTRODUCCION

La Ley Nacional de Catastro Nº 26.209 promulgada el 18 de enero del año 2007, otorga a la República Argentina los lineamientos necesarios y definitivos hacia el ordenamiento territorial del país, al cual deben responder y ajustarse los catastros territoriales pertenecientes a las diversas jurisdicciones de las provincias y de la Ciudad Autónoma deBuenos Aires. Entre los ejes centrales de la Ley se enmarca la ubicación georreferenciada de la parcela como elemento esencial de la misma, y se posiciona a los catastros como motor y componente fundamental en el desarrollo de la infraestructura de datos espaciales del país (IGN. 2021).

La vital importancia de dicha norma, puede destacarse desde los aspectos jurídico, técnico y social. Desde lo jurídico porque la Ley Nacional de Catastro es complementaria del Código Civil y

de aplicación obligatoria en todo el territorio nacional; estableciendo en su Art. 5º como primer elemento esencial de la parcela, la ubicación georreferenciada del inmueble, sus límites y sus medidas lineales, angulares y de superficie; con lo cual la georreferenciación parcelaria brinda seguridad jurídica en el proceso de transferencia de las propiedades inmuebles. Por ello el acuerdo logrado para establecer en el país un sistema geodésico de referencia único en un avance jurídico tecnológico trascendente (Rodriguez y Sisti, 2019).

Desde lo técnico porque los Catastros tienen entre sus atribuciones la de ejecutar la cartografía Catastral de la Jurisdicción (Art. 3º inciso g), la cual debe ser continua para todas las jurisdicciones (Art. 5º). Esto implica la implementación de los sistemas de información territorial (SIT) por parte de los catastros, estableciéndose así un parcelario continuo a través de la administración de las diferentes jurisdicciones, ya que las parcelas estarán espacialmente vinculadas a un único sistema de referencia.

Finalmente, desde lo social dado que la nueva conceptualización de la información geográfica requiere de las IDE (Infraestructura de Datos Espaciales). Para la generación de una IDE es necesario un SIT que lo sustente, y permita la publicidad de la información generada por los catastros a partir del trabajo de los profesionales de la agrimensura. En base a este nuevo concepto, la disposición de la información geoespacial permite que el acceso a la información del territorio se encuentre disponible para toda la comunidadPara ello, a su vez es necesario adoptar estándares que garanticen la comunicación entre los distintos actores institucionales y esto se logra, en gran parte, por la correcta georreferenciación del dato geográfico en un único marco de referencia geodésico.

En nuestra provincia, a partir del mes de marzo de 2018, todos los planos de Mensura y Levantamientos Territoriales que se registran en la Dirección General de Catastro de la provincia de Santiago del Estero (DGC), requieren la georreferenciación de la parcela objeto de la Mensura o Levantamiento, siempre que la superficie de la misma sea superior a las 5 has. Siendo esta la primera etapa, hasta alcanzar la georreferenciación de todas las parcelas de la provincia.

Conforme a la Resolución interna DGC 147/2017 y su modificatoria 38/2019, se adopta como metodología, para la georreferenciación, las indicadas en el Anexo I del Acta acuerdo firmada, en diciembre de 2015, por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), el Consejo Federal de Catastro (CFC) y la Federación Argentina de Agrimensores (FADA).Dicha normativa contiene los procedimientos para el levantamiento, tiempos de observación mínimos necesarios, según tipo de instrumental GNSS utilizado, asícomo la forma de validación para que el procesamientode las observaciones sean adoptadas como soluciones aceptadas.

Por su parte, la exigencia de estas operaciones, trajo consigo el reclamo de los profesionales que deben realizar dichas operaciones, las cuales pueden resumirse en el excesivo tiempo que en muchas ocasiones insumen estas operaciones y, sumado a esto, los resultados no satisfactorios que a veces requieren una nueva medición, con la consabida pérdida de recursos que estas situaciones implican.

Este problema se debe, en gran parte, a que los 13 puntos fijos activos (PFA) de la Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo (RAMSAC) cuya cobertura alcanza el territorio de Santiago del Estero, es decir las 5 Estaciones Permanentes, con que cuenta nuestra provincia, TERO, SUR1, OJOA, PUMA y TATU más las ubicadas en provincias limítrofes, como ser SBAL y TOSF de Santa Fe, JVGO de Salta, JVCH, TUCU, TUC1 y JBAL de Tucumán y CATA de Catamarca(figura 1); tomando estas con radios de cobertura de 100km, como máximo admisible y en condiciones favorables para operar con receptores monofrecuencia se deduce queno alcanzan a cubrir el extenso territorio provincial el que totaliza una superficie aproximada de 1,85 millones de hectáreas, según se muestra en la figura 2 (áreas en negro).

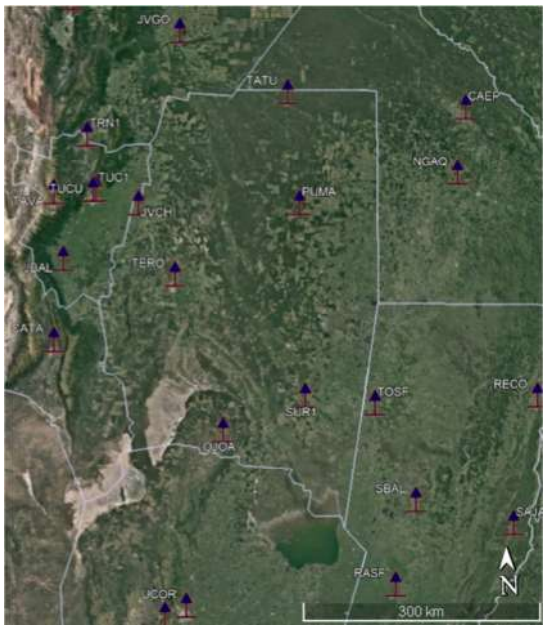


Figura 1: puntos fijos activos (PFA) de la Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo (RAMSAC).

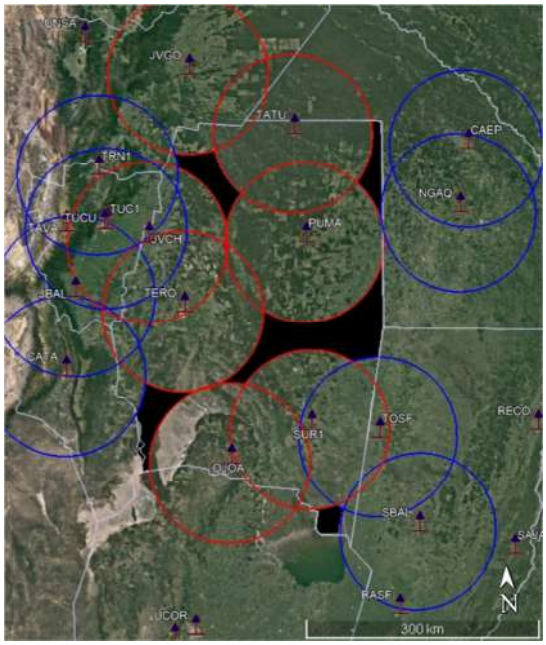


Figura 2: Zonas sin cobertura de RAMSAC en Santiago del Estero

Este inconveniente, hace que se requiera mayores tiempos de observación y/o la utilización de equipos GNSS doble frecuencia que son muchos más costosos de adquirir o alquilar. Si bien una solución sería agregar estaciones permanentes de la red RAMSAC para cubrir, estas áreas de vacancia, los lugares de emplazamiento posibles para ello no cuentan con la infraestructura necesaria para instalar las mismas.

Por su parte en nuestra provincia persisten aun, puntos fijos de la Red de Referencia Cartográfica y Catastral (RRCC), figura 3, la cual fue diseñada y medida en el año 1997 mediante un convenio entre la Dirección General de Catastro (D.G.C.) y la U.N.S.E., siendo la unidad ejecutora el Departamento de Agrimensura; constituyendo, la misma, la primera red provincial vinculada a POSGAR'94, marco de referencia nacional de esa época. Dicha red, que en rigurosidad es una malla compuesta por 11 polígonos adyacentes cuyos desarrollos geométricos fueron cuidadosamente estudiados desde el punto de vista de acceso usando caminos nacionales, provinciales y/o vecinales (Yanicelli, 1997).

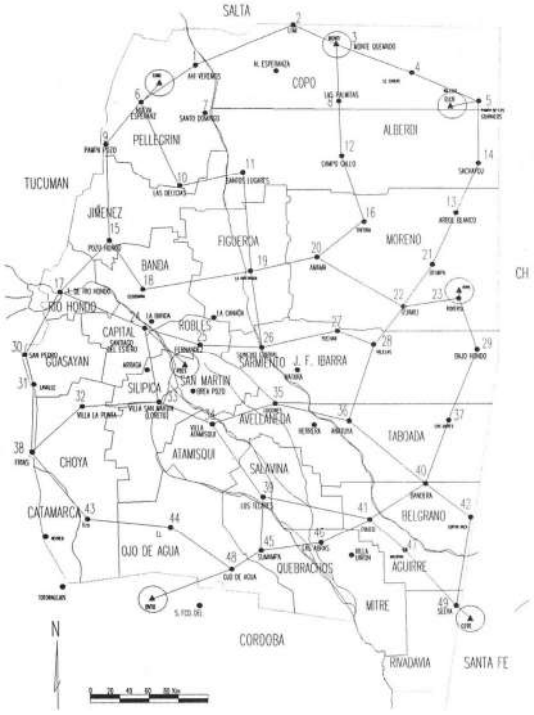


Figura 3: Red de Referencia Cartográfica y Catastral (RRCC)

Esta red contaba en origen con 54 puntos fijos pasivos (PFP) distribuidos en el territorio provincial a una distancia que oscilaba entre los 25 y 85 km (51 km en promedio), materializados mediante una marca consistente en una pieza torneada en bronce de forma cónica truncada de 2 cm de diámetro superior, 5 cm de diámetro inferior y 1,5 cm de altura; a esta pieza se adoso en su base un perno roscado, también en bronce, de 1/2" de diámetro y sobresaliendo 2 cm (figura 4).La misma tiene, en la parte superior un orificio central que determina el punto y las leyendas grabadas D. G. C. (Dirección General de Catastro) y S.E. (Santiago del Estero). Las marcas se colocaron siempre sobre construcciones de hormigón existente (alcantarillas, puentes camineros y/o ferroviarios, pavimento de H°A°, etc.) utilizando para ello un sistema de brocas de 1/2 " (Yanicelli, et. al. 1998).

Figura 4: Punto de la Red de Referencia Cartográfica y Catastral (RRCC)

Para la medición de la red se utilizaron dos receptores GPS de tipo geodésicos marca TOPCON modelo GPR 1 de 12 canales, que trabajan con la medición de fase de la onda portadora L1, con todos sus elementos complementarios los que permitieron tomar datos atmosféricos al momento de la medición. Se utilizó el método diferencial estático con un ritmo de recolección de datos se fijó en 5 segundos con un ángulo de máscara de 5º. Para cada vector, se coleccionaron datos en dos sesiones de medición, una de dos horas y otra de una hora, de manera de tener dos valores independientes y asegurar el vector, tomándose información meteorológica (temperatura húmeda, temperatura seca y presión) al comenzar y terminar cada sesión, estos datos eran posteriormente promediados para ser introducidos en el software de postprocesamiento (Yanicelli, 1997).

Posteriormente a medida que se midieron los diferentes polígonos se realizó una compensación por cierre de polígonos y finalmente cuando se tuvo toda la red medida se llevó a cabo una compensación rigurosa por mínimos cuadrados de toda la red. El resultado final fue altamente satisfactorio, dado que los errores residuales de cada punto estuvieron muy por debajo de la precisión requerida de 50 cm, oscilando los mismos entre 10 cm (punto CAPI) y 34 cm (punto SELV) (Yanicelli, et. al. 1998).

Tanto para la medición como para la vinculación de la red, se tuvo en cuenta las recomendaciones del Comité Nacional de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional (CNUGGI, 1996), vinculándose la red a POSGAR'94 (Posiciones Geodésicas Argentinas), Marco de Referencia Nacional oficial de esa época. La misma se realizó utilizando 7 puntos POSGAR, 5 en territorio provincial y dos en provincias limítrofes y que se ubicaban 6 de la periferia de la zona a cubrir y uno en el interior de la misma. Para vincular se midieron vectores desde cada uno de los 7 puntos hacia los vértices más cercanos de la red.

2. OBJETIVO

Esta propuesta tiene como objetivo el diseño de una Red de apoyo para la Georreferenciación en Santiago del Estero (RAGSE), lo cual permitirá optimizar el proceso de georreferenciación de parcelas y su vez aportar a la elaboración una propuesta superadora para el proceso de georreferenciación, a partir de definir y acotar los inconvenientes actuales del proceso de georreferenciación de parcelas.

3. METODOLOGIA

Se trabajó, teniendo principalmente en cuenta por un lado las áreas sin cobertura de las estaciones permanentes actuales de la red RAMSAC, zonas que se muestran en negro en la figura 2, y por otra parte el resultado delascampañas de reconocimiento del estado actual y las posibilidades de reutilización de los puntos fijos de la Red de Referencia Cartográfica y Catastral de la provincia (RRCC), materializada y medida

oportunamente en 1997. Estas campañas se llevaron a cabo entre abril y noviembre del año 2022, a partir de la información de las monografías de cada uno de los puntos pertenecientes a dicha red, como ejemplo, en la figura 5, se muestra la monografía del punto CAPI, ubicado en una alcantarilla en las proximidades de la intersección de la Ruta Nacional N° 9 y la Ruta Provincial N° 208, donde figuraban diversos datos, entre ellos su abalizamiento para una eventual reposición y las coordenadas obtenidas en su momento.

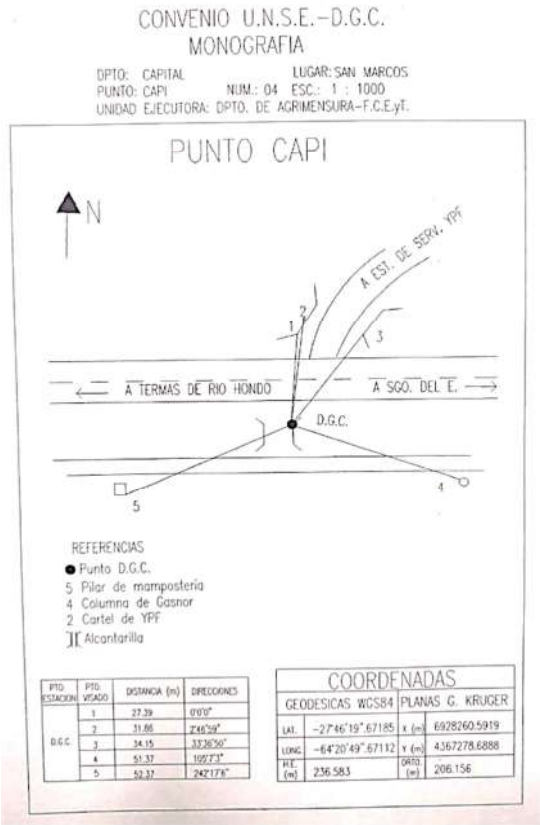


Figura 5: Monografía de un punto de la RRCC (CAPI)

Tomando, de las monografías, las coordenadas de cada uno de los puntos y teniendo en cuenta que las mismas están referidas a POSGAR ’94, marco de referencia oficial de la época que se midió la red (1997), se los ubico en Google Earth(figura 6), para analizar la ubicación y su entorno,así en base a ello, si el punto no hubiera persistido, estudiar su reubicación in situ.

En relevamiento realizado de todos los puntos de la RRCC, se determinó que pocos de los puntos de de la red podrían ser reutilizados, un 25% aproximadamente, debido a que la gran mayoría de los mismos fueron destruidos o debido a obras realizadas dejaron de existir, en situación de estos últimos casos siempre se contempló la posibilidad de ver la reubicación de los mimos en sus cercanías próximas a fin de conservar la geometría origen de la red, esto se juzgó factible para el 95% de los casos.

Figura 6: Punto de la RRCC, sobre imagen de Google Earth

Tomando la posición origen de todos los puntos de la RRCC, se ensayaron dos alternativas posibles a los finesde densificarla, con la finalidad de contar con una red de puntos fijos pasivos accesible y que se pueda utilizar como opción inmediata parala georreferenciación parcelaria, acortando así tiempos de observación y de este modo la red pueda también ser útil para cualquier tipo de obra de ingeniería que necesite ser georrefenciada.

En base a ello, tomando como centro la posición de los 54 puntos, se realizaron dos radio de aplicación de los mismo (figura 7) del orden de los 15km (azul) y 30 Km (rojo).Con la finalidad de analizar la posibilidad de la densificación de la red, con la implementación de nuevos puntos. Claramente la mejor opción sería contar con puntos pasivos lo más cercanos posibles y que sean accesibles a los operadores, brindando la alternativa de procesar con una estación de RAMSAC o bien agregar un operador con menores tiempos de observación.

Se ensayaron ubicaciones de puntos fijos pasivos, analizando los pro y contras de las dos alternativas realizando pruebas que arrojaron ubicaciones probables de puntos en base a ambos entornos.

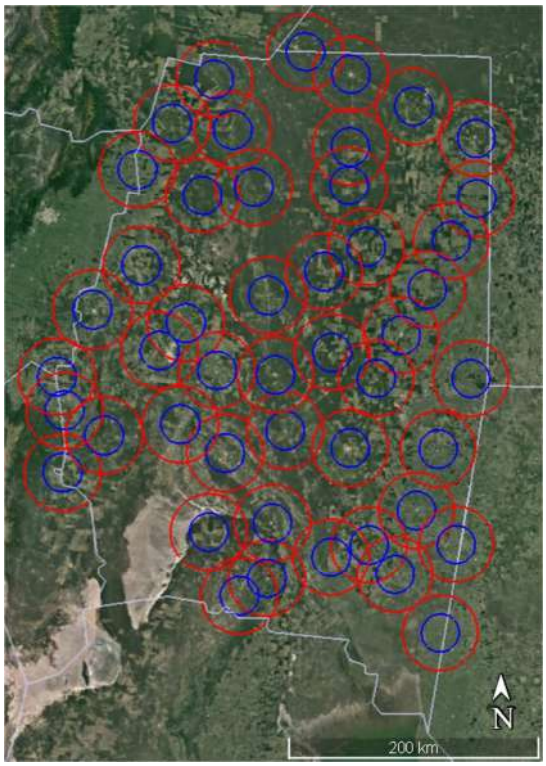


Figura 7: radios con centro en los puntos de la RRCC de 15km (azul) y 30 Km (rojo)

En esta instancia, solo resta definir ubicación definitiva de cada punto, en base a los entornos y análisis de la zona de emplazamiento.

Posteriormente, con el objeto de alcanzar uniformidad en los datos obtenidos, se definirán protocolos para la determinación de las posiciones de los PF de la nueva red de apoyo para vinculación de las georreferenciaciones, teniendo en cuenta los requerimientos de precisión para que estas observaciones puedan ser utilizadas en una posterior realización de nuestro marco de referencia. Definidos los mismos, se avanzará en la materialización de los PF, con marcas a definir junto a la DGC, contemplando los puntos utilizables de la RRCC. Conforme se vaya materializando la nueva red, se irá determinando las posiciones de los nuevos puntos, para lo cual se harán observaciones, conforme a los protocolos, con receptores GPS doble frecuencia y luego se ensayarán diferentes procesamientos vinculando a diferentes puntos de la red RAMSAC. Los resultados de las posiciones de los PF de la nueva red de apoyo serán sometidos a distintos procedimientos de compensación. Primero un ajuste puntual en base a procesar sus datos con distintas estaciones permanentes de RAMSAC, para su vinculación a nuestro actual marco de referencia (POSGAR'07). Luego a un cierre por polígonos y finalmente una compensación por mínimos cuadrados con software de ajuste de redes.

4. RESULTADOS

Analizando las áreas de incidencia de las zonas de 15 y 30 km, se obtuvieron dos alternativas de ubicación de puntos de la nueva red para apoyo a la georreferenciación de Santiago del Estero (RAGSE), tal se muestra en la figura 8, donde las marcas en amarillo muestran los puntos de la la antigua redprovincial de Referencia Cartográfica y Catastral; las marcas en rojo representanla ubicación de nuevos puntosconsiderando los radios de 30km y la alternativa en azul, la ubicación de puntos tomando los radios de 15km.

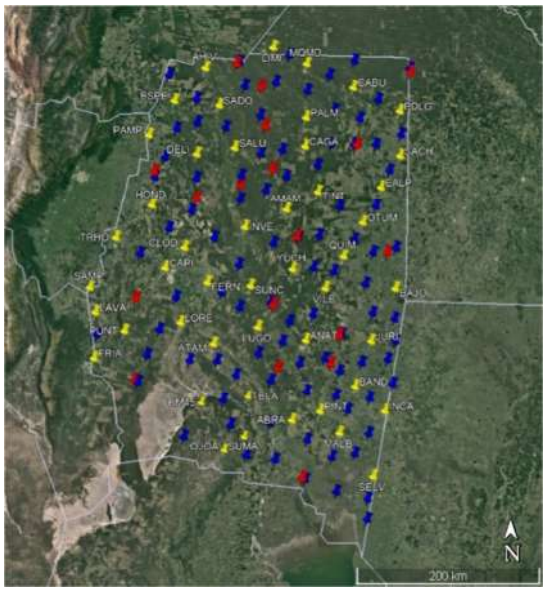


Figura 8: alternativas de ubicación de PF para RAGSE

Sin duda del análisis de ambas alternativas o bien de una combinación de ellas, surgirá RAGSE.

5.CONCLUSIONES

El diseño e implementación de una nueva red de apoyo para la georreferenciación, permitirá acortar las distancias de vinculación y con ello los tiempos de observación, conforme a las exigencias actuales de la Resolución interna de la DGC 38/2019.

Por otra parte se contará con una considerable cantidad de procesamiento de datos colectados por receptores monofrecuencia Una vez alcanzados los resultados finales de las posiciones de los puntos fijos de la RAGSE, se podrán ensayar vinculaciones, con el objeto de realizar ajustes y observaciones que permitan finalmente definir una nueva propuesta de procedimientos de georreferenciación en la provincia considerando puntos pasivos, basada en observaciones, análisis y resultados sustentados científicamente. También se espera contar con aportes y conclusiones, que permitirán hacer una propuesta superadora a las normas actuales sobre georreferenciación de parcelas.

Finalmente, este aporte servirá a la comunidad de profesionales que desarrollan su actividad, ya sea pública como privada, en el ámbito catastral, contribuyendo, de esta manera al ordenamiento territorial en la provincia de Santiago del Estero

6. REFERENCIAS

GGSR, Grupo de Geodesia Satelital de Rosario (2015) Consideraciones sobre la propuesta “La Georreferenciación de parcelas rurales en la República Argentina” Disponible en: https://www.fceia.unr.edu.ar/gps/publicaciones/consideracionespropuesta-ign.pdf

I.G.N. Instituto Geografico Nacional. (fecha de consulta 02 de junio de 2021) “La Georreferenciación de Parcelas Rurales en la República Argentina”. Disponible en: https://www.ign.gob.ar/archivos/geodesia/Normativa_georreferenciacion_de_parcelas_rurales.pdf

Rodriguez R. y Sisti J.. (2019) “Marcos de referencia y georreferenciación de parcelas”. Disponible en: https://academianacionaldeagrimensurablog.files.wordpress.com/2019/10/marcos-y-georreferenciacic3b3n-trabajo-para-ana.pdf

Subcomité de Geodesia del Comité Nacional de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional (CNUGGI), (1996) “Estándares Geodésicos (GPS)”. República Argentina. 1a. Edición.

Yanicelli, R. (1997) Red Basica de Apoyo y Cartografia Escala 1:100.000. Convenio Universidad Nacional de Santiago del Estero, Dirección General de Catastro de la provincia de Santiago del Estero. Informe N° 2.

Yanicelli, R.; Goldar, E.; Costa, W. y Gulotta, J. (1998) Red GPS de Referencia Cartográfica y Catastral para la Provincia de Santiago del Estero. V Congreso Internacional de Ciencias de la Tierra. Santiago de Chile.

Realización de una red de apoyo topográfico y de control para un futuro relevamiento de una estructura edilicia con escáner LIDAR.

Duro, Javier.[1]; Infante, Claudia.[1]; Gómez, Diego.[1]; Amalfi, Santiago.[1] Bernasconi, Federico.[1]; Alaniz, Belén.[1]. Fontenla, Constanza.[1]

(1) Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero. javaduro@gmail.com; claudia.nfnt@gmail.com; diegopablog@hotmail.com; santiagoamalfi@gmail.com; ivanfedericobernasconi@gmail.com; alaniz.mbelen@gmail.com; constanza_fontela@hotmail.com

RESUMEN

LIDAR (Light Detection And Ranging) es un sistema de medición masiva de posiciones (coordenadas) de forma remota, basado en un sensor de barrido laser (región espectral del infrarrojo) que emite pulsos y registra los retornos contra la superficie. Esta tecnología está modificando sustancialmente la forma de generar información útil para inspeccionar terrenos y/o construcciones, ver el panorama general, recopilar datos geométricos durante las etapas de planificación y otras múltiples aplicaciones, de manera rápida y precisa. Los puntos de apoyo (PA) y puntos de control (PC) son herramientas fundamentales en los levantamientos con LIDAR, cuando se debe tener una precisión de localización absoluta. Este trabajo se traza como objetivo el analizar los distintos resultados obtenidos al realizar una poligonal topográfica de apoyo y control, con distintos métodos de la topografía, en la zona del Estadio Único Madre de Ciudades, en la ciudad de Santiago del Estero, utilizando para ello receptores satelitales GNSS (Global Navigation Satellite System), Estación Total Laser y nivel óptico automático. Examinando las distintas metodologías utilizadas, precisiones obtenidas, y las ventajas y desventajas de cada caso.

ABSTRACT

LIDAR (Light Detection And Ranging) is a system for massive measurement of positions (coordinates) remotely, based on a laser scanning sensor (infrared spectral region) that emits pulses and registers the returns against the surface. This technology is substantially changing the way of generating useful information to inspect land and/or buildings, see the big picture, collect geometric data during planning stages, and multiple other applications, quickly and accurately. Support Points (PA) and Control Points (CP) are essential tools in LIDAR surveys, when absolute location accuracy is required. The objective of this work is to analyze the different results obtained when carrying out a topographic polygonal of support and control, with different methods of topography, in the area of the Único Madre de Ciudades Stadium, in the city of Santiago del Estero, using for it GNSS (Global Navigation Satellite System) satellite receivers, Laser Total Station and automatic optical level. Examining the different methodologies used, the details obtained, and the advantages and disadvantages of each case.

Palabras claves: (LIDAR – Topografía - Geodesia – GNSS).

Keywords: (LIDAR - Topography – Geodesy -GNSS)

1. INTRODUCCION.

La constante evolución científico-tecnológica, es un elemento motivador en el desarrollo de varios sectores de la ingeniería; como así también en la modernización de las técnicas de levantamientos topográficos, geodésicos y de captura masiva espacial continua de datos tridimensionales de distintas superficies con alto grado de detalle. En la actualidad los campos de acción que abarca la ingeniería, como lo son la topografía y la geomática, han tenido evoluciones significativas,

con técnicas e instrumentos que permiten realizar mediciones de forma directa o indirecta de la superficie terrestre, de una manera más rápida y obteniendo resultados cada vez más precisos y confiables, lo que permite obtener información necesaria para la toma de decisiones y planificación de diversos tipos de proyectos. El empleo de equipos topográficos como la Estación Total y los receptores satelitales para posicionamiento (GNSS, Global Navigation Satellite System) son cada vez más comunes en la ejecución de los levantamientos; sin embargo, la aplicación de técnicas y equipos más avanzados como lo es la tecnología LIDAR resultan de uso novedoso a la fecha. LIDAR (Light Detection and Ranging) es una tecnología de medición remota que utiliza pulsos de luz láser para medir distancias y crear mapas detallados tridimensionales de la superficie de objetos y terrenos. Funciona enviando ráfagas de luz láser a una superficie y midiendo el tiempo que tarda la luz en rebotar y volver al sensor. Estos datos se utilizan para crear modelos detallados de la superficie, que pueden ser utilizados en aplicaciones como la cartografía, la topografía, la ingeniería civil, la arqueología, la agricultura de precisión y la conducción autónoma de vehículos. Ante la disponibilidad futura de un sistema de LIDAR móvil de última generación, surgió la posibilidad de realizar un relevamiento de prueba de una gran estructura civil ubicada en la ciudad de Santiago del Estero. Los puntos de apoyo (PA) y puntos de control (PC) terrestre, son puntos topográficos de un lugar fácilmente observable en la tierra del que se conoce su localización bajo un sistema de coordenadas, y que está situado en sitios específicos dentro del área que se desea estudiar. La mayoría de los métodos topográficos requieren algún tipo de apoyo de campo, ya que es necesario establecer puntos de control o puntos de referencia en el terreno para poder realizar mediciones precisas y georreferenciar los datos recolectados, según aconseja Mozo etal (2014). Por ejemplo, los métodos de levantamiento topográfico tradicionales, como la topografía con estación total y el nivel o equialtímetro, suelen requerir la colocación de puntos de control en el terreno, ya sea mediante estacas, clavos o marcadores, para poder medir distancias y alturas con precisión. Del mismo modo, los métodos topográficos más modernos, como el escaneo láser terrestre y el levantamiento topográfico con drones, también requieren la colocación de puntos de control en el terreno para poder georreferenciar los datos recolectados con precisión y evaluar la calidad de los datos relevados. En resumen, la mayoría de los métodos topográficos necesitan algún tipo de apoyo de campo para poder obtener mediciones precisas y confiables en el terreno. Al emplear estas nuevas tecnologías, su importancia arraiga a un resultado final de calidad, con resultados comprobables, para obtener los mejores productos finales como ortomosaicos, nubes de puntos, curvas de nivel, modelos digitales de terreno, etcétera. Por consiguiente, es crucial que los puntos de apoyo y control tengan una precisión óptima, ya que serán la base de todos los resultados subsecuentes.

2. PLANIFICACION Y MATERIALIZACION DE LA RED DE APOYO.

2.1 *Zona de trabajo*

La edificación elegida para el futuro relevamiento LIDAR es el Estadio Único Madre de Ciudades, que es la zona de trabajo para realizar las tareas de apoyo previstas. Se encuentra ubicado en la ciudad de Santiago del Estero, en Av. Circunvalación Norte esquina Av. Alberdi y fue construido durante el periodo de los años 2018-2021. Algunas de sus características y medidas son las siguientes:

- Diseño: Moderno, con tribunas techadas y una platea cubierta que abarca todo el largo del campo de juego, con un diámetro aproximado de 210 metros y una capacidad para 28.000 espectadores. Su forma es de tipo cilíndrica.
- Ubicación geodésica aproximada: 27°45'59.54"S; 64°16'12.79"O
- Ubicación geográfica: enclavado en la ribera derecha del río Dulce. El terreno se encuentra rodeado por el Puente Carretero, el Jardín Botánico de la ciudad y está conectado con el Tren al Desarrollo mediante una estación 11.
- Altura de las tribunas: La altura de las tribunas es de 25 metros desde el nivel del campo de juego.
- Los materiales predominantes utilizados en su construcción fueron principalmente concreto armado, acero, vidrio y aluminio.
- La cubierta del techo son lonas o membranas de material PVC (policloruro de vinilo). De tonalidades blancas y grisáceas, tienen por

dentro un tejido de nailon recubierto por una capa de PVC por arriba y por debajo que lo protege contra los rayos UV del sol.

Figura 1: Vista aérea del Estadio Único Madre de Ciudades. Zona de trabajo elegida.

2.2 *Diseño de la Poligonal de Apoyo*

Una poligonal cerrada es un conjunto de segmentos de recta que conectan una serie de puntos en el plano, formando una figura cerrada. Esta es la figura elegida para el relevamiento de los puntos de apoyo, una poligonal rodeando por el exterior al edificio. Esto presenta una serie de ventajas, una de las cuales es que permite verificar la precisión de los datos obtenidos durante el levantamiento y corregir posibles errores; es decir, presenta condiciones geométricas de cierre angular (1) y lineal (2); como indica Domínguez García Tejero (1998) y Torres Nieto (2000):

$$\sum \alpha = 180° \times (n-2) \quad (1)$$

$$\sum \Delta x = 0 \; ; \sum \Delta y = 0 \quad (2)$$

Esta poligonal se conformó de 8 vértices, a saber, denominados desde A, hasta H; con intervisibilidad entre puntos consecutivos.

Figura 2: Vista de la poligonal proyectada y la nomenclatura de los vértices.

En estos vértices hará estación el escáner LIDAR, por lo que la ubicación de cada uno fue elegida pensando en abarcar la totalidad de la vista del edificio.

2.3 *Materialización de la Poligonal de Apoyo.*

La materialización de una poligonal topográfica consiste en marcar en el terreno los puntos que la conforman. Para ello se optó por puntos permanentes, bulones de metal empotrados en las veredas y/o caminerías de cemento circundantes, señalizándolas con un punto de pintura para su posterior ubicación.

Figura 3: Vista de el vértice E, materializado con bulón y pintura.

3. MATERIALES Y EQUIPOS USADOS.

3.1 *Receptores GNSS.*

Se utilizaron receptores GNSS Kolida Mini K9 bifrecuencia (recibe señal de las ondas portadoras L1 y L2), un equipo compacto y de alta precisión que utiliza señales de distintas constelaciones de satélites para determinar la posición exacta de un punto en el terreno. Con múltiples características avanzadas que lo hacen adecuado para aplicaciones de levantamiento topográfico y geodésico. Algunas de las características técnicas principales de este equipo son, según indica www.kolidainstrument.com/ (2023):

- Ofrece una precisión de posicionamiento en horizontal de ±2.5mm + 0.5ppm (modo estático) y de ±8mm + 1 ppm (modo RTK).
- Es compatible con múltiples constelaciones de satélites, incluyendo GPS, GLONASS, BeiDou y Galileo, lo que mejora la precisión y la disponibilidad de señal (dispone de 220 canales de rastreo satelital).

3.2 *Estación Total Laser.*

Se utilizo una estación total laser South N7 Series, que combina tecnología óptica y electrónica para realizar mediciones precisas y confiables en el terreno, y su correspondiente prisma reflector. Algunas de las características técnicas principales de este equipo son, según indica www.southinstrument.com (2023):

- Diversas funciones avanzadas, como medición de ángulos verticales y horizontales, cálculo de coordenadas, compensación de temperatura y corrección de curvatura terrestre.
- Precisión angular de 2", una precisión de distancia de 2 mm + 2 ppm (con prisma reflector) y 3 mm + 2 ppm (sin prisma reflector).
- Rango de medición de distancia de 5000 metros con prisma reflector y 800 metros sin prisma reflector.

3.3 Equipo de Nivelación Geométrica.

Compuesto de un Nivel o Equialtímetro Automático Topocon ATG6, más miras topográficas de aluminio. Algunas de las características técnicas principales de este equipo, según indica www.topconpositioning.com (2023) son:

- precisión de 0.6 mm/km en doble nivelación, lo que lo hace adecuado para mediciones topográficas de alta precisión.
- Ampliación de 28x, lo que permite una fácil lectura de la mira en cualquier condición de luz.
- El nivel cuenta con un compensador de doble eje que asegura una precisión constante y una lectura precisa de la mira, incluso en terrenos irregulares.

Es importante tener en cuenta que las características técnicas de precisiones y rangos de medición informada por los fabricantes, en los tres equipos utilizados, se ve afectado por factores ambientales como la lluvia, la niebla, la luz solar intensa y la polución atmosférica, la geometría satelital al momento de la medición, calidad de los prismas utilizados, etcétera. Por lo que estas características mencionadas son nominales según el fabricante.

En resumen, todos los equipos utilizados fueron de alta precisión, con múltiples características avanzadas que los hacen adecuados para aplicaciones de levantamiento topográfico y geodésico de alta precisión.

4. METODOLOGIA DE TRABAJO Y RESULTADOS.

4.1 Medición con receptores GNSS.

Se midieron las coordenadas de los puntos de la poligonal con los receptores GNSS. En modo estático, según aconseja Leick (1990) y Hoffman etal (2001), vinculando el vértice A con la Estación Permanente TERO, perteneciente a la red RAMSAC del IGN. Con un tiempo total de medición de 3 horas 13 minutos. Procesados los datos obtenidos con software libre Rtklib.com (2023), se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 1. Coordenadas geodésicas y planas obtenidas, del vértice A.

Vértice	Coord. Geodésicas	Planas Faja 4 POSGAR 07 (metros) (Este, Norte)
TERO	S27°47'20,92260" O64°15'24,41061"	4376135,254 6926257,024
A	S27°46'03,04020" O64°16'07,25800"	4374937,365 6928642,693

Las precisiones obtenidas en el procesamiento de la posición de A, en este caso fueron: 2,30 cm en horizontal; 9,50 cm en vertical. Con un error medio cuadrático de 1,20 cm.

Posteriormente se realizó el posicionamiento de los demás vértices de la poligonal (tiempo de observación promedio de 15/16 minutos por punto), obteniendo las siguientes coordenadas:

Tabla 2. Coordenadas geodésicas y planas obtenidas, de los vértices B, C, D, E, F, G y H.

B	S27°46'04,76124" O64°16'13,27128"	4374773,239 6928588,009
C	S27°45'59,54333" O64°16'17,64536"	4374651,794 6928747,411
D	S27°45'56,46782" O64°16'16,26241"	4374688,688 6928842,487
E	S27°45'50,22928" O64°16'12,85185"	4374780,103 6929035,515
F	S27°45'52,59657" O64°16'10,13074"	4374855,376 6928963,404
G	S27°45'54,95874" O64°16'08,19156"	4374909,232 6928891,229
H	S27°45'59,20559" O64°16'04,62693"	4375008,199 6928761,491

Las precisiones obtenidas en el procesamiento de los puntos en promedio, en este caso fueron: 0,60 cm en horizontal; 0,81 cm en vertical. Con un error medio cuadrático de 0,81 cm.

Figura 4: Determinación de las coordenadas del vértice D; con receptor GNSS Kolida.

El tiempo necesario efectivo de campo para esta tarea de medición fue de aproximadamente 4 horas, siendo necesario dos operadores.

4.2 Medición con Estación Total Laser.

Posteriormente se midieron las coordenadas de los puntos de la poligonal con la Estación Total. Realizando estación en cada uno de los vértices y lecturas en Primera y Segunda posición del instrumento. Contemplando las correcciones por presión temperatura y constante del prisma utilizado. Se estaciono nuevamente al final en el vértice de partida para tener control de cierre. Realizando los correspondientes cierres angulares y lineales, se obtuvieron las siguientes coordenadas planas:

Tabla 3. Coordenadas planas compensadas, obtenidas mediante Estación Total.

Vértice	Coordenadas Planas (m)	
	Este	Norte
A	4374937.365	6928642.693
B	4374773.270	6928588.019
C	4374651.794	6928747.411
D	4374688.696	6928842.437
E	4374780.086	6929035.437
F	4374855.333	6928963.358
G	4374909.188	6928891.198
H	4375008.166	6928761.498

Los errores de cierre poligonal obtenidos, fueron los siguientes: Eα = 00°00’14.80” (error de cierre angular); Ex= 0,80 cm; Ey= -0,40 cm (errores de cierre lineal); lo que significa una flecha de error total de 0,90 cm.

Figura 5: Estación en el vértice A con la Estación Total.

El tiempo necesario efectivo de campo para esta tarea de medición fue de aproximadamente 3 horas, siendo necesario dos operadores.

Comparando ambos valores de coordenadas obtenidas podemos analizar el siguiente gráfico derivado de los resultados obtenidos:

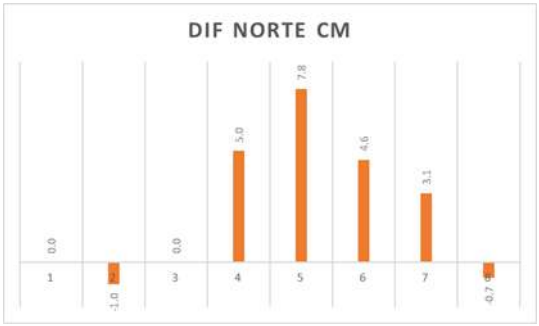


Figura 6: Diferencia en cm de las coordenadas Norte GNSS y Estación Total.

Donde denota que las diferencias en la componente NORTE de la coordenada es en promedio 2,7 cm; pero alcanza en algunos puntos desplazamiento de casi 8,0 cm. En coordenadas la componente ESTE el promedio es de 1,4 cm; alcanzando máximos de 4,4 cm. Considerando normal estas diferencias, debido a la naturaleza distintas de los métodos.

4.2 Nivelación geométrica de los vértices poligonales con nivel óptico automático

La nivelación geométrica es una técnica altimétrica utilizada en topografía para determinar las altitudes relativas de diferentes puntos en la superficie terrestre, es decir desniveles entre puntos. El concepto es dirigir visuales horizontales (dadas por el equialtímetro) hacia miras verticales (miras topográficas, verticalizadas con niveles esféricos). Es la técnica más precisa de nivelación, superando a la nivelación trigonométrica y a la barométrica. Para esta determinación se eligió el método de nivelación compuesta de punto medio, que consiste en estacionar el nivel en el centro aproximado de la alineación que une los puntos (determinado a pasos, en nuestro caso 60 pasos o menos) dirigiendo visuales hacia la mira situada primero en el punto Espalda (mA) y después en el Frente (mB), tomando en cada uno la lectura del hilo medio, esto permite eliminar influencia de errores inherentes a la técnica, fundamentalmente de: curvatura terrestre, refracción de la visual y error de colimación del eje del anteojo (3). Para determinar los errores accidentales residuales que siempre se presentan y poder evaluar la precisión del trabajo realizado, se cerró el itinerario de nivelación sobre el vértice de arranque (itinerario cerrado), según aconseja Hudiel (2010).

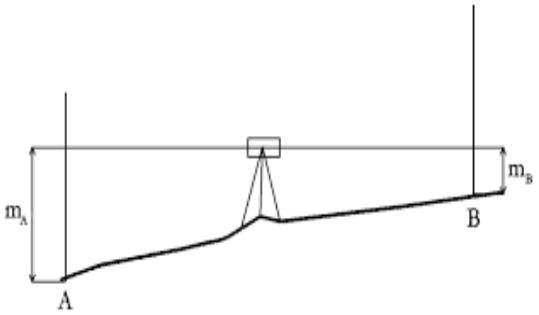


Figura 7: Esquema de nivelación geométrica de punto medio.

$$\Delta H_{A-B} = LmA - LmB \quad (3)$$

Tomando una tolerancia tipo de 0,021 m (T=0,002 x √ Dist. en km) para los 1,184 Kilómetros nivelados del perímetro del polígono; el cierre de la nivelación da un valor de -0.012 metros. Por lo que se considera un valor aceptable.

Tabla 4. Desniveles geométricos compensados.

Desnivel	Compensados (m)
A-B	-0.037
B-C	5.384
C-D	0.141
D-E	-5.586
E-F	0.384
F-G	0.124
G-H	0.003
H-A	-0.412

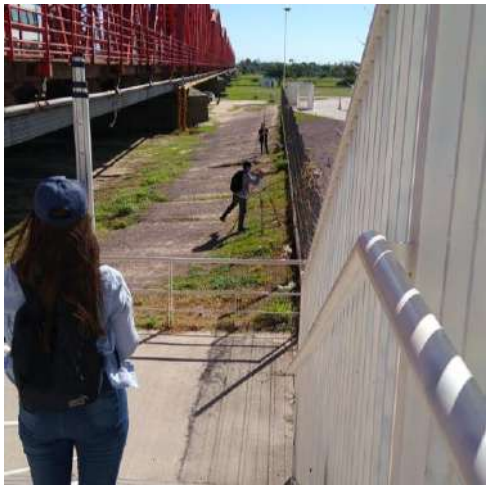


Figura 8: Nivelación geométrica del lado D-E del polígono.

4.3 Nivelación trigonométrica de los vértices poligonales.

El proceso de nivelación trigonométrica implica medir las distancias horizontales entre los puntos y los ángulos verticales entre ellos, función que se hace usando la estación total. Esta utiliza las funciones trigonométricas para calcular las alturas de los puntos en relación con una línea de referencia conocida. La nivelación trigonométrica es útil en áreas donde el terreno es demasiado accidentado o inaccesible para la nivelación geométrica. puede ser más rápida y económica que la nivelación tradicional en ciertas situaciones, según menciona Wolf etal (2016).

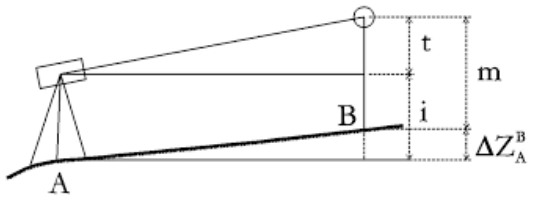


Figura 9: Esquema conceptual de la nivelación trigonométrica.

Aunque la nivelación trigonométrica es considerada como menos precisa que otros métodos de nivelación, se ha optado por utilizarla para medir las diferencias de altura con el fin de comparar y determinar si cumple con las precisiones necesarias para el propósito de campo deseado. Se determinaron los siguientes desniveles:

Tabla 5. Desniveles trigonométricos compensados.

Desnivel	Compensados (m)
A-B	-0.029
B-C	5.371
C-D	0.137
D-E	-5.585
E-F	0.377
F-G	0.129
G-H	-0.010
H-A	-0.390

Tomando una precisión esperada estándar para una nivelación trigonométrica de 10 cm x km, y siendo la distancia nivelada aproximadamente de 1,18 km; podemos adoptar una tolerancia de 10 cm. El cierre de la nivelación da un valor de 0,036 metros. Por lo que se considera un valor aceptable.

5. CONCLUSIONES.

Las redes de soporte para LIDAR implican el uso de puntos de apoyo y control terrestre, puntos medidos con precisión en el terreno que proporcionan una referencia para los datos LIDAR. Estos PC y PA se utilizan para mejorar la exactitud y precisión de los datos LIDAR, particularmente en términos de su posicionamiento vertical y horizontal. Implica el uso de equipos topográficos como receptores GNSS, estaciones totales y niveles automáticos. Durante el levantamiento LIDAR, el sistema capturará puntos de datos que corresponden a los GCP en la red. Luego, estos puntos se utilizan para georreferenciar con precisión los datos LIDAR y garantizar que estén correctamente alineados con otras fuentes de datos geoespaciales.

5.1 Levantamiento planimétrico.

Gracias a todos los relevamientos realizados: los 8 puntos de la poligonal de apoyo (lados en promedio de 148,06 m) con GNSS vs Estación Total, podemos interpretar que:

- Tanto las precisiones alcanzadas con GNSS, como con Estación Total (por debajo del

centímetro) han alcanzado ampliamente lo esperado

- Ambos métodos necesitan mínimo de dos operadores y con un tiempo de trabajo de campo neto aceptable para el tamaño y extensión de la poligonal de apoyo.
- Podríamos afirmar que, en las condiciones dadas, es indistinto utilizar cualquiera de las técnicas (ambas darán muy buenos resultados), teniendo el GNSS la ventaja de no necesitar visibilidad entre los vértices, pero la desventaja de poder ver afectada la precisión por el fenómeno del Multipath, que puede afectar las señales GNSS, donde las señales se reflejan en las superficies antes de llegar al receptor, lo que provoca errores en la posición calculada. Esto es particularmente un problema en entornos urbanos donde los edificios altos y otras estructuras pueden hacer que las señales reboten y creen interferencias. En el caso de la estructura del Estadio cercano, no afecto para nada las mediciones.
- En cuanto a la Estación Total, mientras haya visibilidad entre vértices consecutivos no presenta mayores inconvenientes.

5.2 Levantamiento altimétrico.

Comparando el relevamiento realizado de los 8 puntos de la poligonal de apoyo con Equialtímetro Óptico Automático vs Estación Total, podemos concluir lo siguiente:

- Se demostró que la nivelación geométrica, es el método más adecuado para determinar las diferencias de elevación y las alturas. Aunque menos precisa, tal cual era de esperarse, la nivelación trigonométrica también demostró ser aceptable.
- Vale la pena considerar que la nivelación trigonométrica se puede realizar en conjunto con el levantamiento planimétrico, lo que podría ahorrar suficiente tiempo de campo en este tipo de trabajo dependiendo de la urgencia requerida.

6. AGRADECIMIENTOS

Al Consejo de Investigación de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Santiago del Estero (CICYT-UNSE).

7. REFERENCIAS

Domínguez García Tejero, F. (1998). *Topografía General y Aplicada*. Mundiprensa.

Hoffman, B.; Lichtenegger H. y Collins J. (2001), *GPS Theory and Practice*. Springer Verlag.

Hudiel S. (2010). *Apuntes de Topografía*. Universidad Nacional de Ingeniería, Estelí, Nicaragüa.

Leick, A. (1990). *GPS Satellite Surveying*. Jhon Wiley & Sons.

Mozo M. y Alconada I. (2014). *Control de calidad de vuelo LIDAR utilizado para la modelización 3D de las fallas de Alhama (Murcia) y Carboneras (Almería)*. Universidad Politécnica de Madrid.

Torres Nieto, A. y Villate Bonilla, E. (2000), *Topografía 4ta Edición*. Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá, Colombia.

Wolf P. y Ghilani C., (2016). *Topografía*. Alfaomega.

www.kolidainstrument.com/ (2023).

www.southinstrument.com/ (2023).

www.topconpositioning.com/ (2023).

www.rtklib.com (2023).

Metodología para generar un mde a partir de interferometría Sar o Insar, utilizando imágenes ENVISAT.

Gutiérrez, Carlos Alfredo[1];Goldar Eduardo[1];Barbarani Sebastián[2]

(1) Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero.agcarlos64@gmail.com

(2) Departamento de Agrimensura, Facultad de Ingeniería – Universidad de Buenos Aires. sbalbara@fi.uba.ar

RESUMEN

Para la construcción de un modelo digital de elevación a partir de la técnica de interferometría InSAR, se debe realizar una secuencia ordenada de procesos. Primero, el cálculo de la línea de base critica para el sensor en cuestión, en segundo lugar la selección del par de imágenes a partir de un set de *n* imágenes, entercer paso, elcálculo de la línea de base perpendicular para el par de imágenes seleccionadas del set. Siguen a estos procesos, la actualización de las orbitas satelitales, la corregistración de las imágenes, la formación del interferograma y su mapa de coherencia, el proceso de multiloocking, filtrado de fase, desenrollado de fase, conversión a mapa de diferencias de altura DEM y finalmente geo-codificación. El presente trabajo, muestra esta secuencia desde la selección del par de imágenes de un setcorrespondiente a la región de Cuyo, (Mendoza), hasta la obtención del DEM para el caso particular de imágenes ENVISAT. Esta secuencia de procesos es realizada en el software SNAP, de código libre y abierto de la Agencia Espacial Europea.

ABSTRACT

For the construction of a digital lifting model from the SAR or INSAR interferometry technique, an orderly sequence of processes must be carried out. First, the calculation of the critical baseline for the sensor in second place the selection of the torque of images from a set of n images, third step, calculation of the perpendicular baseline for the pair of images selected from Said set. They follow these processes, the update of the satellite orbits, the corregistration of the images, the formation of the interferogram and its coherence map, multilloocking process, phase filtering, phase unwill GEO-CODIFICATION. The present work shows this sequence from how the pair of images of a set, corresponding to the Cuyo region, Mendoza, until obtaining the DEM, must be selected for the particular case of images invisat. This sequence of processes is carried out in the Sofwarer Snap, of free and open code of the European Space Agency.

Palabras claves: (SAR-InSAR-Fase-Elevación)

Keywords: (SAR-InSAR-Phase-Elevation)

1. INTRODUCCION

InSAR(InterferometricSyntheticAperture Radar) es una técnica derivada, que permite a partir de dos imágenes de radar, construir un modelo digital de elevación (MDE). Previamente, se deben calcular dos parámetros muy importantes, la línea de base perpendicular critica ($B_{\perp crítica}$) para el sensor en cuestión y la línea de base perpendicular ($B_{\perp}$) entre las imágenes seleccionadas. La línea de base critica,es aquella distancia que produce un cambio espectral igual al ancho de banda. La longitud de onda λ, el ancho de banda en rango Br, la velocidad de la luz C, el ángulo de incidencia $\theta_{incidencia}$ y la pendiente local ζ, son requeridos para la estimación de la línea de base crítica y pueden ser extraídos de los metadatos de lasimágenes

mismas. La línea de base crítica $B_{\perp crítica}$también, es función del ángulo de incidencia $\theta_{incidencia}$ y de la pendiente local ζ del terreno, de manera que su valor variara en cada pixel de la imagen. Generalmente para estimar el valor del ángulo de incidencia, se toma como referencia el del pixel central de la imagen. El valor de la pendiente local se suele adoptar igual a cero. La línea de base crítica obtenida de esta manera, no dejara de ser siempre, un valor estimado.

La línea de base perpendicular $B_{\perp}$, que es la componente perpendicular de la separación orbital entre las dos plataformas al momento de la adquisición de las imágenes, se obtiene a partir de un proceso empírico, seleccionandodel set de imágenes el par más adecuado. De este set compuesto de *n* imágenes, se debe seleccionar un par para la construcción del modelo digital de elevación. Se establece entonces, una relación de compromiso, entre la línea de base perpendicular del par de imágenes seleccionado y la línea de base critica para el sensor en cuestión. Esta relación, conduce a tener que elegir un par de ese conjunto que satisfaga ciertas condiciones. La relación entre la línea de base perpendicular $B_{\perp}$ y la línea de base critica $B_{\perp crítica}$, está dada por la correlación por geometría.

Existe otra condición importante, la cual determina la resolución del sistema.Cuanto más larga es la línea de base perpendicular (mapeo topográfico) sin llegar al valor crítico, mayor será la resolución del modelo el cual está dado por la altura de ambigüedad Z.

Cuando mayor es la línea de base perpendicular $B_{\perp}$entre los sensores al momento de las adquisiciones de las imágenes, el valor de la altura de ambigüedad Z, será más pequeño, esto significa que el sistema se hace más sensible a los cambios de altura.Empíricamente se puede establecer que un valor mínimo de la línea de base perpendicular $B_{\perp}$ seria 1/3 de la línea de base critica. A partir de aquí, se detalla la secuencia de procesos para la elaboración de un modelo digital de elevación.
El objetivo propuesto en el presente trabajo, es establecer una metodología operacional, para llegar a obtener un DEM, a partir de imágenes ENVISAT, y en particular en la zona de cuyo, Mendoza y zonas similares en donde se combinan topografías escarpadas con fuertes pendientes con topografías completamente llanas.

1 MATERIALES

Para el presente trabajo, se empleó un set de 5 imágenes del sensor ENVISAT, cuyas líneas de base perpendiculares, son relativamente más largas que otros sensores, haciéndolos aptos para el mapeo topográfico. Las imágenes corresponden al año 2010 de los meses de enero, febrero, marzo, abril y septiembre. El software de procesamiento que se usoes el SNAPde la Agencia Espacial Europea (ESA-EuropeanSpace Agency). Es una caja de herramientas gratuita y de código abierto para procesar productos de datos de numerosas misiones satelitales como Copernicus, Sentinel-1, Sentinel-2 y Sentinel-3, así como la misión SMOS de la ESA y misiones de terceros.

2 METODOLOGIA

2.1 *Cálculo de la línea de base critica*

La línea de base critica para un sensor dado, se define matemáticamente según la ecuación (1).

$$B_{\perp crit} = \lambda \left(\frac{B_R}{C}\right) R_1 tang(\theta_{inc} - \zeta) \qquad (1)$$

Estos parámetros como ya dijimos, se extraen de los metadatos de la imagen. En este caso el valor obtenido de línea de base crítica para el sensor ENVISAT es de 1337,09 metros.

2.2 *Selección del par de imágenes*

El proceso de selección de un par de un set de *n* imágenes para la construcción de un MDE,es un proceso netamente empíricocomo ya se mencionó.Esto se debe a que, si seleccionamos un par de imágenes que consideramos adecuadas de un set de *n* imágenes, contando con otro set de (*n*+1) imágenes, se podría mejorar dicha selección.

Las cinco (5) imágenes ENVISAT seleccionadas son comunes a la misma zona, aunque sus fechas de adquisición son diferentes.De este set de imágenes se selecciona un par, cuya línea de base perpendiculares lo más larga posible pero no mayor o igual a la línea de base critica.

SNAP cuenta con una herramienta con la cual se apila el set. En este apilado, el operador, toma por defecto una imagen de referencia o también

llamada master, las líneas de base perpendicular, la coherencia modelada,la altura de ambigüedad ylas líneas temporales entre otros parámetros se refieren a la master.En este apilado, se puede dejar de lado u obviar la imagen master puesta por defecto y analizar las líneas de base entre el resto de las imágenes, eligiendo nosotros mismos la master que más nos convenga. Lo que siempre debemos tener en cuenta es que cunado elijamos un par que consideremos adecuado, la master debe ser siempre la más antigua en el tiempo.
El par seleccionado correspondió a una imagen del 08 de enero de 2010 y la otra del 12 de febrero de 2010,cuya línea de base perpendicular tiene un valorde 406,33 metros. Luegose comparó la línea de base perpendicular del par elegido, con la línea de base critica del sensor. La línea de base perpendicular significa aproximadamente 1/3 de la línea de base critica cuyo valor habíamos calculado en 1337.09 metros. Por otro lado, la altura de ambigüedad resultante del par seleccionado es de 36,09 metros. Esto significa que la resolución del sistema puede determinar variaciones de altura de 36,09 metros.

2.3 *Actualización de las Orbitas*

El desconocimiento de las posiciones orbitales actualizadas,puede llegar a introducir algunas componentes de fase adicionales en muestro producto que en realidad no corresponden al terreno, sino que corresponden a estimaciones de las posiciones del satélite desconocidas. Esto introduce un error que, si bien no corresponde a lade correlación, pero si a una componente de fase que afectara el resultado. Dado que las imágenes seleccionadas son del año 2010, el paso siguientees la actualización de las posiciones orbitales.Primero se debe verificar cuantas son las posiciones orbitales que tiene cada imagen antes de la actualización.Esta información laobtenemos de los metadatos de las imágenes. Para nuestro par de imágenes se verifico que contaban con**5** posiciones o vectores de estado orbital en cada imagen).Estas posiciones orbitales (orbitas transmitidas), son datos orbitales que trae la imagen por defecto y que en general ya posteriori de esa adquisición, las estaciones terrenas hacen un reprocesamiento de estos datos orbitales para mejorar la estimación de la posición. Esos datos orbitales nuevos o más refinados se ponen a disposición del usuario en distintos centros o repositorios, pero no son distribuidos con las imágenes. Esta actualización se hace imagen por imagen. Para el caso de ENVISAT, seleccionamos el repositorio de: DORIS precise VOR (ENVISAT) (Auto Download).Estos son datos orbitales más precisos. El operador descarga las nuevas orbitas y las reemplaza en los metadatos,el dato orbital original por el preciso. Este procedimiento se hace para las dos imágenes por separado. Al nuevo producto actualizado en órbita, el operadorle asigna un sufijo Orb. El siguiente paso es verificar si efectivamente las orbitas fueron actualizadas.

2.4 *Co-Registración de Imágenes*

SNAP cuenta con varias herramientas de corregistración, entre ellas, herramientas exclusivas para SENTINEL, este sensor requiere algoritmos de corregistración especiales, pero para el caso de ENVISAT de ERST y otros sensores más viejos, con la corregistración tradicional es suficiente. Cuando secoregistran las imágenes, se suman las imágenes.Es importante establecer la imagen más antigua en el tiempo, como de referencia o master. SNAP tomara esa imagen de referencia y coregistrara el resto de las imágenes que en este caso es una sola, pero puede haber más, a la geometría de la master. SNAP crea un Stack o pila, que en realidad es un producto, es la combinación de todos los productos elegidos, asignándole el nombre de la imagen master. Este producto es una combinación de las dos imágenes, master y secundaria. La imagen secundaria es llevada a la geometría de adquisición de la imagen master.En la pestaña de Cross-Correlation o correlación cruzada, el operador del software, encuentra los desplazamientos en distintas ventanas que va ubicando a lo largo y a lo ancho de toda la imagen.Para este caso se define 2000 puntos por defecto distribuidos en toda la imagen, o sea definirá 2000 posiciones en las cuales calculara con los parámetros que figuran también por defecto, el desplazamiento que hay entre la imagen esclava o secundaria con respecto a la imagen master o de referencia.En caso de que la imagen secundaria estaría muy desplazada respecto a la de referencia y si el algoritmo de corregistración falla, se podría activar la opción Estimateinitialcoarse offset (Estimar el desplazamiento aproximado inicial) con lo cual SNAP toma una ventana más grande calculando un tipo de desplazamiento rígido en esa ventana

más grande.En la pestaña del Warp es la función que usa para interpolar la imagen secundaria o esclava a partir de la función construida en la correlación cruzada y remuestreada a la imagen de referencia. Para esto utiliza el método de convolución cubica (6 puntos) por defecto.El resultado será un producto que el operador le asignará el sufijo Stack, que tendrá 6 bandas (cuatro bandas reales y dos virtuales) donde el primer set de 3bandas corresponde a la imagen de referencia(imaginaria q), (real i) y (virtual intensity), las 3 bandas restantes corresponden a la imagen secundaria.Esta imagen secundaria fue re-muestreada a la geometría de la imagen de referencia (set de imágenes co-registrado).

2.5 *Formación del Interferogramay Mapa de Coherencia*

El operador parte de un Stack de imágenes, producto obtenido en el paso anterior y asigna el sufijo. ifg.En los parámetros de procesamiento tenemos la opción de restar la componente de fase de tierra plana. También está la opción de restar la fase de topografía y reemplazarla por un modelo digital de elevación que tengamos a disposición, pero como en realidad lo que queremos es obtener justamente un DEM, entonces no activamos esa opción.También tenemos la opción de Incluir la estimación de coherencia. Recordemos que la estimación de coherencia se hace sobre una ventana a la cual el operador nos preguntara el tamaño de dicha ventana. En este caso el operador tomarápor defecto una ventana de 10 por 35 y generará la estimación de coherencia para ese producto y luego llevará ese producto a la resolución original, lo cual será una seudo coherencia. Este valor lo deberemos recordar para cuando hagamos el multilook. El operadortoma la imagen master y la multiplica por el complejo conjugado de la imagen secundaria para obtener como resultado el Interferograma al cual le calculará la coherencia y la fase interferometrica a la cual le restará la fase de tierra plana.El nuevo producto ifg es un Interferograma, un dato complejo con una banda real (i) yuna banda imaginaria (q) al cual le podemos calcular la intensidad, la faseφ y la coherencia como muestra la ecuación (2).

$$\varphi = arc.tang \frac{dato\ imaginario\ (q)}{dato\ real\ (i)} \qquad (2)$$

Si abrimos el mapa de coherencia,la fase está en alta resolución entre el rango -π y π. El tamaño de la matriz es de (6255 por 31046) pixeles.Es la misma en la coherencia como en la fase y en la intensidad. La coherencia fue calculada utilizando una ventana de 10 por 35. En realidad, el mapa de coherencia verdaderamente tiene 625 pixelespor 2000 aproximadamenteque corresponden a la otra dimensión. Si abrimos el mapa de coherencia y hacemos zoom veremos que el pixel esta como estirado, esto se debe a que la estimación de la coherencia fue hecha con una ventana de (10 por 35) pixeles entonces todos los elementos de esa porción de la imagen tendrán una coherencia similar.En el presente trabajo, se obtuvo una coherencia bastante buena, donde encontramos zonas de mejor coherencia y zonas de peor coherencia. Las zonas de mejor coherencia son las zonas blancas (valores cercanos a 1). Hay muchas zonas con muy baja coherencia que son las que están más cerca del cero que corresponden a zonas con más vegetación, zonas de cultivo, que a pesar de la escasa diferencia temporal entre las adquisiciones (35 días), aun así, puede haber cambiado. La fase la cual está en alta resolución completa cuyo rango es entre (-π y +π).

Las franjas de fase que vemos en la Fig. 3 representan el relieve o variaciones de altura. Una variación completa de colores del rojo al azul, ósea un cambio de fase de (-π a +π) por ejemplo significa una variación de altura igual a la altura de ambigüedad Z= 36,09 metros que es la altura que corresponde a nuestro par de imágenes seleccionadas.

2.6 *Proceso de Multilooking*

El multilooking se usa para mejorar la estadística, a expensas de perder resolución espacial. ENVISAT tiene un pixel de 5 por 20 metros, que es la resolución que tenemos en nuestro ejemplo.El operador asigna el sufijo _ML. En los parámetros de procesamiento, dejamos todas las bandas como están. Solamente cambiamos en NumberofRange Looks le ponemos 10 para mantener la correlación con el producto de coherencia que habíamos calculado anteriormente, eso nos generara un pixel cuadrado de aproximadamente de 140 metros proyectado a suelo (groundrange), lo cual es burdo, pero a los fines prácticos nos

sirve.Podríamos haber configurado 3 multilooking en rango, para no perder tanta resolución obteniendo así un pixel de 40 metros, por ejemplo, pero cuanto menos multilooking hagamos, más ruido tendrá la fase y es más factible que el desenrollador tenga errores al desenrollar la fase.Contrariamente cuanto más multilooking hagamos estamos perdiendo más resolución espacial y zonas de variabilidad de la fase, por lo tanto también perdemos sensibilidad en la resolución del sistema y perdemos zonas de interés. De manera que es todo un balance o equilibrio que debemos tener en cuenta en función de cuál es el objetivo.
Como conclusión podemos afirmar que el multiloock siempre es necesario hacerlo porque lleva el pixel de la imagen que suele ser rectangular a un pixel cuadrado que es más natural de ver y además porque mejora la estadística de la imagen ayudando así al desenrollador de fase. La cantidad de multiloock a realizar, dependerá las características de la zona que estemos estudiando.

2.7 *Filtrado de Fase*

En esta etapa se procedió a aplicar un filtro de Goldstein a la fase ya multilokeada.El objetivo del filtrado al igualque el multilooking esmejorar la señal-ruido y ayudar al algoritmo a desenrollar lo mejor posible la fase.La línea de comandos es: Radar>Interferometric>Filtering>Goldstein PhaseFiltering, elegimos el producto multilookeado el operador le agregara el sufijo flt (de filtrado), en los parámetros de procesamiento tiene un exponente que usa para hacer que el filtro varíe, Adaptive Filter Exponen in (0,1]. Por defecto aparece 1 pero generalmente es recomendable poner 0,5.Además tiene una opción en la cual el filtro puede usar una máscara de coherencia para filtrar pixeles de coherencia baja, CoherenceThreshold [0,1] (umbral de coherencia), la cual se configuro que filtrara valores menores a 0,2 de tal manera de evitar pixeles que tengan muy baja coherencia por debajo de 0,2 y también evitar introducir ruido en la estimación.

2.8 *Desenrrollado de Fase*

El software SNAP, no cuenta con un desenrollador de fase como herramienta, este es un complemento, por lo tanto se debe exportar el último producto obtenido en el paso anterior hacia un desenrrollador externo. Este es un paso crítico. El procedimiento consta en exportar el producto (mapa de fase) a un entorno externo a SNAP, usar el desenrollador (desenrollar la fase con dicho desenrollador en ese entorno) e importar el producto ya desenrollado nuevamente a SNAP.

Puede ocurrir que SNAP no tenga instalado el complemento SNAPHU Unwrapping, en ese caso se deberá descargarlo como Plugins (complemento). Una vez descargado, se debe activarlo, desde la opción Tools>Plugins,en la pestaña AvailablePlugins (complementos disponibles) nos fijamos que se encuentre en la lista lo seleccionamos y lo activamos. Luego chequeamos que figure en la pestaña de Installed.

Luego para configurar SNAPHU nos dirigimos a Tools>ManageExternal Tools, lo seleccionamos y tocamos el botón de EditTheselected Operador (Editar el operador seleccionado). Aparecerán distintas ventanas de configuración, elegiremos la última de ellas:Bundled Binaries (Binarios incluidos), aquí tenemos que elegir primero la pestaña del tipo de sistema operativo que usamos, en nuestro caso Windows Bundle, en Location: lo descargaremos en forma remota (REMOTE) automáticamente indica la ruta al paquete en la ventana de URL:http://step.esa.int/thirdparties/snaphu/2.0.4/snaphu-v2.0.4_win64.zipesta es la ruta al paquete acepto la interfaz para la configuración de SNAPHU).

En Target Folder (carpeta de destino), debemos crear una carpeta en donde se instalará el software, deberá ser una carpeta de fácil acceso, los nombres de dicha carpeta no deben ser complicados ni con caracteres ni espacios y deben estar lo más próximo al directorio raíz. Creamos la carpeta de la manera descripta y copiamos el path o sea la ubicación de la misma y lo pegamos enTarget Folder y le damos descargar. La descarga se realizará en la carpeta indicada bajo el nombre de: snaphu-v2.0.4_win64. Finalmente,cuando le damos Ok en External Tools, ¡cambia de un signo de advertencia color naranja! a una tilde verde, y lo cerramos.

Exportar la fase interferometricamultilokeada y filtrada al directorio creado para poder usar SNAP.VamosaRadar>Interferometric>Unwrapping>SnaphuExport, seleccionamos el producto en la pestaña SnaphuExport en Target Folder definimos una carpeta donde vamos a exportar el producto para que sea desenrollado, esta carpeta, bien puede ser la misma carpeta donde instalamos SNAPHU, pero además debemos crear otra subcarpeta para colocar allí el producto a desenrollar. Luego los parámetros que siguen para configurar son vinculados a SNAPHU que en general son parámetros que funcionan bien. El desenrollado con SNAPHU puede ser un proceso que demande mucho dependiendo del tamaño del producto y de la disponibilidad del procesador que tengamos en muestro ordenador. SNAPHU tiene una opción que es dividir el interferograma en parches o porciones, donde dependiendo de la disponibilidad de los procesadores en mi PC, se puede enviar cada una de estas porciones del interferograma a un procesador distinto y hacer el desenrollado en simultáneo de manera más rápida. Para nuestro caso tenemos que por defecto usara 4 procesadores y dividirá el interferograma en 10 filas por 10 columnas, o sea en 100 porciones, que ira enviando a distintos procesadores para hacerlo más rápido.En realidad, esta división de porciones podría ocasionar errores en el desenrollado, por ese motivo vamos a configurar que no divida el interferograma o sea 1 a 1 y en un único procesador. Finalmente le damos correr.Esto lo que hará es haber exportado el producto (fase interferometrica junto con la coherencia) generando un archivo de configuración de SNAPHU, que es el archivo que usa para desenrollar. SNAPHU es un ejecutable que toma un archivo de configuración. Este archivo de configuración es un archivo de texto, si lo abrimos tiene una serie de parámetros donde están las dimensiones de la imagen, la fase y parámetros vinculados a la geometría SAR.

Configurar SNAPHU desde SNAP,este paso consiste en indicarle a SNAPHU la ruta donde se colocó el producto a desenrollar. Nuevamente a Tools>ManageExternal Tools, seleccionamos SNAPHU-unwrapping y EditTheselected Operador (Editar el operador seleccionado). En System Variables (variables del sistema), hacemos doble clic en USERPROFILE, se abrirá una ventana: Edit USERPROFILE y en la ventana que corresponde a Windows value pegamos la ruta donde hemos exportado el producto que queremos desenrollar. Así queda configurado SNAPHU para correr el desenrollador de fase.

Desenrollado de Fase, consiste en hacer el desenrollado de fase propiamente dicho. Nos vamos a Radar>Interferometric>Unwrapping>Snaphu-unwrapping, seleccionamos nuestro producto y en los parámetros de procesamiento dejamos todo como esta. La casilla que dice Output Folder (Carpeta de salida) dejarla en blancoy finalmente le damos Run.

Re-Importar el producto ya desenrollado a SNAP, nos vamos a: Radar>Interferometric>Unwrapping>SnaphuImport seleccionamos el interferograma enrollado, en la pestaña 2 (Read-Unwrapped-Phase) leemos o buscamos la fase desenrollada que genero SNAPHU en el directorio externo a SNAP (es la que tiene la extensión. hdr). En la pestaña 3 (SnaphuImport) no cambiamos nada y en la pestaña 4 (Write) en este caso el operador no coloca sufijo, le colocamos uno, por ejemplo: “desenrollado”. Le damos correr.

Al abrir el nuevo producto, tiene las mismas bandas más una que es Unw_Phase_ifg. El mismo es un mapa de fase continuo es el mismo mapa, pero ahora ya no está entre -π y π. Es un mapa de relieve en valores de fase desenrollada, aún no está en alturas.Los valores del Interferograma desenrollado son valores de fase o deltas de fase entre pixel y pixel, o sea es información relativa.

Ya no tenemos ese salto de fase que teníamos en el Interferograma enrollado. Ver Fig. 8.

2.9 *Conversión a Elevación*

Mediante la ecuación (2) de la altura de ambigüedadZ, ecuación, donde $\boldsymbol{\phi}$ tomará el valor de cada uno de los pixeles y los convertirá a un mapa de diferencias de altura.

$$Z = \phi \frac{\lambda r sin(\theta_{inc})}{4\pi B_{\perp}} \quad (2)$$

La secuencia de comandos a ejecutar en SNAP es:
Radar>Interferometric>Products>PhasetoElevation. Lo que hará el operador es tomar la fase desenrollada y le aplicara a cada pixel la ecuación de la altura de ambigüedad *Z*. El operador le agrega el sufijo dem. Además, en Processing Parameters, debemos anclar este mapa de alturas a un DEM. Le damos Run.Se genera un nuevo producto con una sola banda denominada elevation.

Si hacemos la consulta en la herramienta PiexelInfo, el valor de cada pixel esta ya convertido a metros. Pero este DEM, sigue estando en geometría SAR (ángulo inclinado azimut).

2.10 *Geo-Codificación*

Radar>Geometric>Terraincorrection>Range-Doppler TerrainCorrection, el operador reproyectara este modelo que está en geometría SAR al sistema de coordenadas que provenía del DEM que establecimos. Para este caso el SRTM. El operador agrega el sufijo TC (terraincorrection). Este mapa ahora estará orientado correctamente y las coordenadas son latitud y longitud con su altura asociada. Ver Fig. 18.

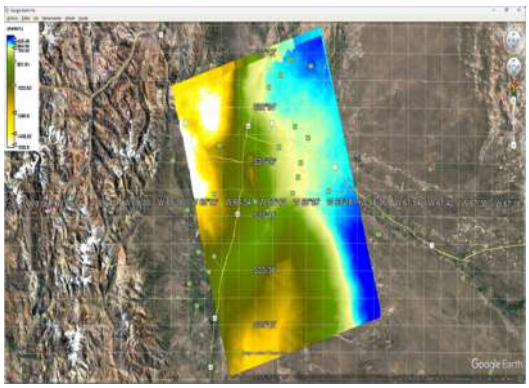


Figura 18: DEM Geo-codificado

3 RESULTADOS

El producto obtenido que se muestra en la Fig. 18, es un modelo digital de elevaciones, cuya resolución es de 36,09 metros, o sea que la diferencia de altura mínima que puede leer es de 39,06 metros.

Está anclado a un DEM que en este caso se trata del SRTM 90.

El proceso de geo-codificación, vinculo el modelo al sistema global de referencia WGS´84 dotando así coordenadas geodésicas latitud y longitud.

4 DISCUSIÓN

La discusión central se encuentra en el proceso inicial en el cual se debe elegir de un set de *n* imágenes cual será el par más adecuado para el mapeo de una zona en cuestión. En el presente trabajo nuestro set consistió de cinco imágenes que luego de un análisis de líneas de base y líneas temporales las opciones se reducen. Pero en el caso de contar con sets de imágenes más numerosos las alternativas de elegir un par conveniente se acrecentarán.

El relieve, también juegan un papel muy importante, en coberturas vegetales, si la separación temporal entre las adquisiciones es demasiado grande, se introducirá de correlación temporal. En coberturas rocosas, la de correlación temporal es mucho menor.

5 CONCLUSIONES

Se debe contar con un set de imágenes lo más numeroso posible.

La línea de base del par seleccionado, tendrá una longitud que estará en función del tipo de topografía o de la zona en cuestión.

La técnica InSAR, es una herramienta invaluable, ya que permite estimar la altura topográfica de cada punto del terreno, significando este dato fundamental en el análisis de inundaciones, zonas de riesgo, etc.

6 REFERENCIAS

Euillades, L. (2021) Curso de Posgrado: *Interferometría de Imágenes Radar, Aplicaciones*. Instituto Mario Gulich.

PrietoMorin, J.F. (2015), Metodos Diferenciales e Interferometricos para la Evaluacion de Deformaciones de la Corteza Terrestre Mediante Tecnicas GNSS e InSAR, Tesis Doctoral.

González Méndez, P.J. (2010), Medida y Caracterizacion de Deformaciones Usando Técnicas Geodésicas y de Teledetección. Aplicación en Volcanología y Sismo tectónica, Tesis Doctoral.

Balbarani, S. (2015). Monitoreo de Deformacion Cortical Mediante el Algoritmo MT-InSAR SBAS con Imágenes SAR CosmoSkymed (Banda X) En Distintas Polarización (HH- y VV). Analisis de los Errores Asociados. Tesis Doctoral.

Garces Olsen, G. (2022). Nuevas Herramientas para la Gestion de Riesgos Naturales: Cuantificación y Caracterización de Deformaciones utilizando interferometría Radar Aplicada a la Geodinámica. Tesis Doctoral.

7 BIBLIOGRAFIA

Hanssen Ramon F. “Radar Interferometry” Data InterpretationandErrorAnalysis. (2001) Delft University ofTechnology, The Netherlands. KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS.NEW YORK, BOSTON, DORDRECHT, LONDON, MOSCOW. eBook ISBN: 0-306-47633-9. ISBN: 0-7923-6945-9. VOLUME 2 (libro)

Kampes Bert M. “Radar Interferometry” PersistentScatterTechnique. (2006)German Aerospace Center (DLR), Germany. Publishedby Springer,P.O. Box 17, 3300 AA Dordrecht, The Netherlands.ISBN-10 1-4020-4723-1 (e-book). ISBN-13 978-1-4020-4723-7 (e-book). VOLUME 12.

Uwe Soergel (ed) “Radar Remote SensingofUrbanAreas.” Leibniz Universität HannoverInstituteofPhotogrammetryandGeoInformation, Germany. (2010) ISSN 1567-3200. Springer Dordrecht Heidelberg London New York. VOLUME 15. http://www.springer.com/series/6477.

Estudio geológico e hidrogeológico de las Sierras de Guasayán - Departamento Choya - Santiago del Estero

Terribile, Marcela[1]; Trejo, Walter[1];Falcón, Martin[1];Carrizo, Carlos[1]; Vera, Maria[1]

(1) Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero marceterr@gmail.com; mario4.tr@gmail.com; martin_10_1989@hotmail.com; becko1989@gmail.com; mariavera1674@gmail.com

RESUMEN

La Sierra de Guasayán, unidad geológica plutónica/metamórfica, con una porosidad primaria de 1 al 3% y una permeabilidad de 10^{-3} a 10^{-4} m/día, condiciona la captación de agua del acuífero libre, cuya explotación económica está asociada a casos fortuitos. Por lo general los pozos se agotan o son de bajo rendimiento. La estructura de bloques volcados que causaron la elevación del borde oriental y una pendiente suave del flanco occidental, surge por esfuerzos compresivos Este/Oeste, provocando fallas transversales en el zócalo cristalino y plegamientos en la cubierta sedimentaria de génesis palustre/lacustre, adosada a ambos flancos del mismo. El análisis de los lineamientos tectónicos mediante fotografías aéreas y con la ayuda de antecedentes de SEV (electro sondeos verticales), se estableció áreas de porosidad secundaria, mediante los contrastes verticales entre roca sana, con resistividades ≥1.000 Ω/m y la resistividad <300 Ω/m de rocas alteradas de igual naturaleza petrológica, pero con fuerte alteración mecánica/química. Las fajas con anomalías de porosidad y permeabilidad, asociadas a patrones geotectónicos, han orientado la captación de agua subterránea en esta comarca rural cuya actividad principal esta basada en la cría de ganado y agricultura. Con dificultades severas en su desarrollo, por la escasez de agua potable.

ABSTRACT

The Sierra de Guasayán, a plutonic/metamorphic geological unit, with a primary porosity of 1 to 3% and a permeability of 10-3 to 10-4 m/day, conditions the collection of water from the free aquifer, whose economic exploitation is associated with fortuitous cases. Wells are usually depleted or underperforming. The structure of overturned blocks that caused the elevation of the eastern edge and a gentle slope of the western flank, arises due to East/West compressive stresses, causing transverse faults in the crystalline base and folding in the sedimentary cover of marsh/lacustrine genesis, attached to both. flanks of it. The analysis of the tectonic lineaments through aerial photographs and with the help of SEV (electro vertical soundings) background, secondary porosity areas were established, through vertical contrasts between sound rock, with resistivities ≥1,000 Ω/m and resistivity < 300 Ω/m of altered rocks of the same petrological nature, but with strong mechanical/chemical alteration. The strips with anomalies of porosity and permeability, associated with geotectonic patterns, have guided the collection of groundwater in this rural region whose main activity is based on cattle raising and agriculture. With severe difficulties in its development, due to the scarcity of drinking water.

Palabras claves: hidrogeología - Sierras de Guasayán -complejo ígneo metamórfico

Keywords: hydrogeology - Sierras de Guasayán - igneous metamorphic complex

1. INTRODUCCION

El presente trabajo tiene como finalidad la caracterización geológica, hidrogeológica y la ubicación de sitios con capacidad potencial de representar áreas de acumulación y probables reservorios de aguas subterráneas en el ámbito de las Sierras de Guasayán.

Las Sierras de Guasayán se extienden en un área aproximada de 1.100 km^2, la cual cuenta con una

población rural muy dispersa que basa su existencia social y económica en la actividad ganadera, con recursos potenciales de naturaleza turística, como en Villa La Punta y en forma subordinada, cultivos agrícolas. En la actualidad, las explotaciones mineras en las localidades de Choya y Ancaján, se encuentran hoy inactivas y con serias dificultades en su desarrollo por la escasez de agua para consumo humano y otras aplicaciones.

La zona de estudio se ubica al oeste de la ciudad capital de Santiago del Estero, en los Departamentos: Choya y Guasayán, con una población actual, en ambos departamentos, de 52.428 habitantes (Datos provisorios CENSO 2022 - INDEC), la densidad poblacional es de 5,8 hab/km^2 y 3 hab/km^2 para ambos departamentos.

El patrón litológico de la sierra, al estar integrada por rocas duras de baja porosidad y limitada permeabilidad, poco estudiadas como reservorios de agua subterránea, ha condicionado el éxito de las obras de captación, que por lo general están asociados a casos fortuitos, ya sean pozos cavados o perforaciones de agua subterránea. Además, se aprovechan las vertientes naturales y muchas de las captaciones a cielo abierto han sufrido un acentuado proceso de envejecimiento.

Adosado al basamento cristalino sobre ambos flancos de la serranía, se apoya en posición somera, una cubierta sedimentaria de edad Terciaria (Mioceno), responsable de la naturaleza Hidroquímica del agua subterránea en la llanura, con sales solubles de SO4= y Cl − de Na, Mg y Ca.

Los acuíferos con un alto grado de salinidad, en este ambiente sedimentario, poseen aguas salobres a saladas de tipo sulfatadas sódicas, utilizadas en algunos casos con limitaciones por los pobladores, para la bebida de animales y otros usos.

En el ambiente de rocas cristalinas, el agua del subsuelo, que corresponde al acuífero freático, presenta buena calidad química, del tipo bicarbonatadas sódicas a cálcicas. Se aplicaron criterios de exploración basados en el empleo de imágenes y fotografías aéreas digitalizadas, un intensivo control de campo donde se priorizan los resultados de la neotectónica, los tipos de fracturas, zonas de alteración según los patrones petrológicos, y su relación con la ubicación de las captaciones y vertientes existentes.

La utilización de la geoeléctrica ha permitido encontrar posibles áreas de porosidad secundaria, mediante los contrastes resistivos verticales, entre rocas sanas y las fajas alteradas.

2. UBICACIÓN GEOGRAFICA

La zona de estudio, comprende a todo el macizo aflorante de las sierras desde la localidad de Villa la Punta por el sur, hasta la población de la Mesada hacia el Norte, tomando como límite Este la ruta provincial Nº 24 y hacia el Oeste una franja de 4 km, donde el Mioceno se apoya sobre el basamento. En ambos casos, los límites oriental y occidental, corresponden a formaciones geológicas modernas fuertemente condicionadas por las rocas del basamento cristalino y su conformación estructural.

El área está ubicada por el Norte, en la latitud Sur 27º 45′ y por el Sur alcanza los 28º 24′ de igual latitud. Por el Este, se extiende desde la longitud Oeste de Greenwich 64º 45′, hasta los 64º 53′, de igual longitud. Dentro de estos parámetros el área abarca una superficie aproximada de unos 1.100 km^2.

En la Figura 1. Ubicación de la zona de estudio, se observa la posición de la zona de estudio en su contexto regional. Las vías de comunicación más importantes son: la ruta nacional Nº 64, que, a partir de la ciudad Capital de Santiago del Estero, cruza la región de Este a Oeste, pasando por Santa Catalina y Puerta Chiquita, y luego se conecta con la provincia vecina de Catamarca, cruzando antes por la población de Lavalle. Otra ruta, es la nacional Nº157, que atraviesa la región de Norte a Sur, paralela a la línea del ferrocarril General Belgrano, ubicándose al Oeste de la zona, sobre el límite interprovincial.

Al oriente de la región de estudio y que sirvió como límite Este, se ubica la ruta provincial Nº 24, esta vía nace en Estación La Punta, y termina en la ruta nacional N°64, desde aquí y hacia el norte se la denomina ruta N° 3 pasando por Las Juntas, El Tableado y Villa Guasayán, desde donde empalma con la ruta N°10, accediéndose a San Pedro de Guasayán. Por último, la ruta provincial Nº33 que bordea la sierra por el Oeste, pasa por Puerta Chiquita, donde se une a la ruta nacional Nº 64.

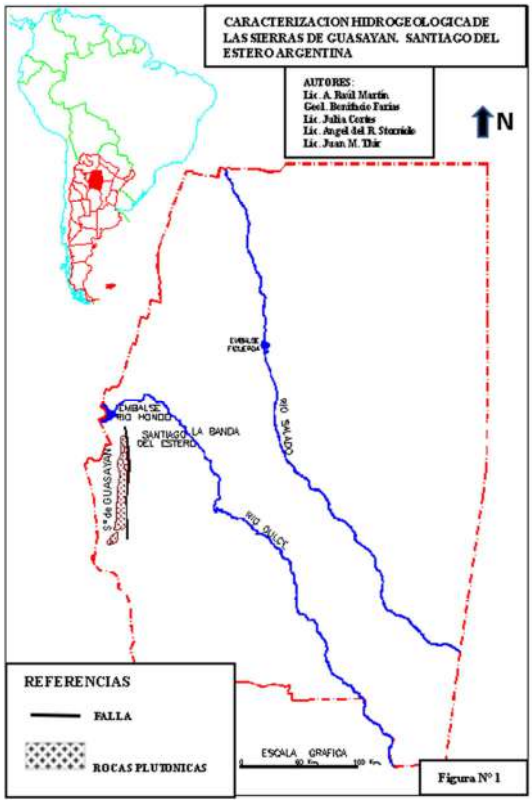


Figura 1: Ubicación de la zona de estudio

3. ANTECEDENTES DEL AREA DE ESTUDIO

Entre los años 1921 a 1923, el Dr. Richard Stappenbeck, en su trabajo:"Geologie und Grundwasserkunde der Pampa",analiza resultados de perforaciones, interpretando datos de análisis físico-químicos de aguas, en la zona próxima al ambiente geológico de Guasayán. La investigación más importante relacionada a la temática hidrogeológica y geológica de la Sierra de Guasayán, son los valiosos aportes del Dr. Roberto Beder (1928), en su obra: "La Sierra de Guasayán y sus alrededores", quien realiza las primeras observaciones geológicas, con descripciones petrográficas del macizo, analiza su estructura y caracteriza a las rocas ígneas y metamórficas, desde el punto de vista hidrogeológico.

El Dr. Bataglia, A. (1982), en la "Descripción Geológica de las Hojas 13f, 13g, 14g, 14h y 15g," que abarca las provincias de Santiago del Estero, Catamarca y Tucumán, realiza un estudio basado en la composición geológica de las Sierras de Guasayán, su estructura y estilo tectónico. Realiza además una interpretación de la secuencia sedimentológica del Terciario (Mioceno) que tiene mucha importancia tiene en la hidrogeoquímica del agua subterránea en la llanura.

Una contribución importante al conocimiento del agua subterránea en las Sierras de Guasayán, es el realizado por el Dr. Oscar Ruiz Huidobro (1973), presentado en el 6º Congreso Nacional del Agua, en el cual detalla las características hidrogeológicas del basamento cristalino, identifica y realiza observaciones sobre las vertientes, con análisis químicos y medición de caudales espontáneos.

3.1 *Geología*

El cordón serrano de las Sierras de Guasayán, regionalmente pertenece a las Sierras Pampeanas, ocupando la zona occidental de la provincia de Santiago del Estero, presenta una morfología elongada de dirección Norte-Sur, extendiéndose 80 Km, desde Villa La Punta hasta Abra del Martirizado. El ancho máximo es de 7 km ubicándose, entre Villa La Punta y el Mojoncito.

Hacia el Norte la sierra sufre una fuerte disminución en su desarrollo lateral y en su altitud, siendo notable a partir de la Quebrada de Guasayán, alcanzando en su extremo septentrional, solamente unos 25m de ancho en el Abra del Martirizado.

En la Figura 2. Representación gráfica de las estructuras geológicas de las Sierras de Guasayán, puede observarse un sistema de fracturas principales y secundarias que han generado dominios estructurales de gran importancia en el comportamiento hidrogeológico de las rocas duras fracturadas. El basamento cristalino, está integrado por tres complejos petrológicos, con rango formacional, las que se observan en el Tabla 1.Clasificación petrológica del basamento cristalino

Tabla 1.Clasificaciónpetrológica del basamento cristalino

Formación	Composición petrológica	Edad
Santa Catalina	Rocas de metamorfismo regional, grado medio.	Cámbrico-Ordovícico

Abra del Martirizado	Rocas de metamorfismo regional, grado bajo	Cámbrico
El Alto	Rocas graníticas y Pegmatitas	Ordovícico

La formación Santa Catalina está integrada por rocas de metamorfismo regional de grado alto a medio, como esquistos bandeados, gneises y mármoles. En general prevalece el cuarzo con un 35 al 45%, plagioclasa, biotita, moscovita y feldespato potásico. Los mármoles, representan fajas discontinuas asociadas a los esquistos y gneises, con texturas granoblásticas.
La formación Abra del Martirizado, la componen rocas de bajo grado de metamorfismo regional, como pizarras, filitas cuarzosas, cuarcitas feldespáticas micáceas, filonitas y calizas cristalinas granulosas.
De acuerdo a los valores modales obtenidos, las rocas se ubican en el grupo de los Monzogranitos y Granodioritas, según Omil, M. (l992).

3.1.1 *Formaciones Sedimentarias*

La estructura sedimentaria Terciaria, que influye en la hidrogeología de la zona, presenta las siguientes formaciones, que se muestran en el Tabla 2. Formaciones sedimentarias terciarias

Tabla 2. Formaciones sedimentarias terciarias

TERCIARIO		
Época	Formación	Litología
Plioceno Superior	Choya	Fanglomerados, con rodados del basamento y de rocas volcánicas con matriz areno-limosa.
Plioceno Medio	Las Cañas (Ruiz Huidobro)	Arcilitas pardas, rojizas, limolitas, cineritas.
Mioceno Superior	Río Salí (R. Huidobro) Guasayán (Bataglia 1982)	Arcillas verdes yesíferas, yeso fibroso, arcillas pardas, cenizas volcánicas, tobas yesíferas.

3.1.2 *Cuaternario*

Formaciones del Cuaternario cubren la región, con espesores variables, son poco representativas y su naturaleza se observa en laTabla 3. Formaciones del Cuaternario

Tabla 3. Formaciones del Cuaternario

CUATERNARIO		
Época	Formación	Litología
Holoceno (25.000 años)	Pospampeana	Sedimentos continentales, depósitos aluviales y eólicos, loess, salares.
Pleistoceno (1.000.000 años)	Capellanía Pampeana	Loess, fanglomerados, conos deyección, rodados con matriz areno limosa

Las estructuras de pie de monte, como abanicos y pequeños conos de deyección con sedimentación caótica, son afloramientos de naturaleza esporádica, de escasa importancia hidrogeológica, observándose en los alrededores de Villa La Punta, la Quebrada de Maquijata, Santa Catalina y Alto Bello.

3.1.3 *Estructura Geológica*

La estructura actual del cordón serrano de Guasayán, es producto de movimientos tectónicos ocurridosdesde el eón Precámbrico. La unidad se presenta en bloques fallados y volcados, que afectaron suavemente a la cubierta sedimentaria Terciaria. El rechazo estimado de la falla es de unos 900 m.
El basamento esquistoso, presenta un rumbo constante de Norte/Sur, con ligeras variaciones hacia el oeste con ángulos de 20º a 40º. El cuerpo granítico, elemento principal de la sierra, constituido por rocas alcalinas que han intruido un cuerpo menor de rocas metamórficas, se presenta como un bloque ascendido por una falla principal de rumbo norte/sur, basculado hacia el oeste, lo cual le configura un perfil asimétrico, con un labio oriental elevado, con ángulo subvertical y un plano estructural hacia occidente. Estos rasgos pueden ser observados en las Figura 2.

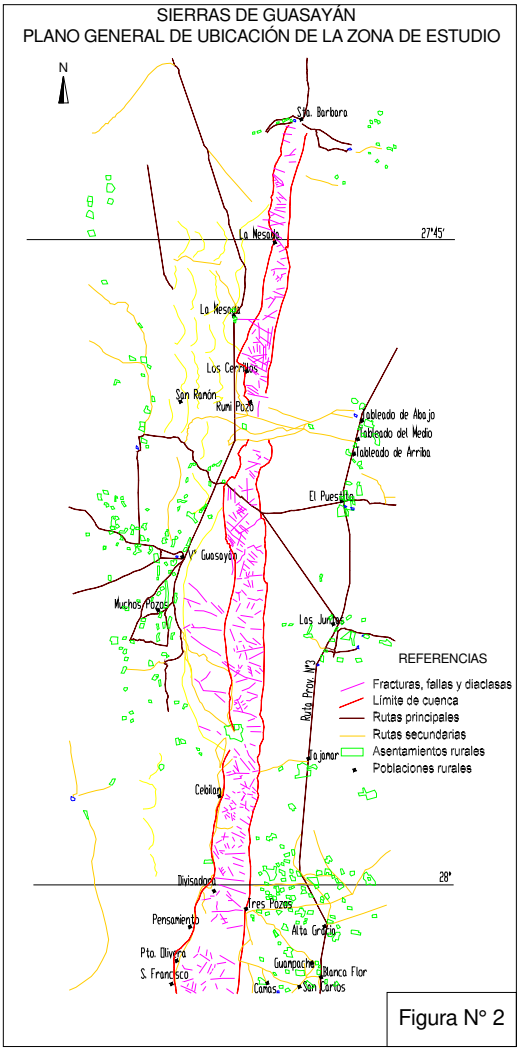


Figura 2.Representación gráfica de las estructuras geológicas de lasSierras de Guasayán

El cuerpo granítico, poco deformado, ajusta su diseño tectónico a la estructura preexistente de la roca de caja. Al ser un cuerpo rígido, ha prevalecido la fracturación sobre la deformación moldeable, generando juegos principales de diaclasas verticales y horizontales.
Las rocas metamórficas presentan una estructura con una orientación predominante Norte/Sur. Como rasgos secundarios se observan bandeamientos, foliaciones, ondulaciones y micropliegues. Prevalece la deformación dúctil, haciéndose evidente en el tramo de Puerta Chiquita a Santa Catalina, en la quebrada de Maquijata y en la zona de Alto Bello.
Existen además juegos de fracturas transversales con desplazamientos variables que inciden sobre el diseño de drenaje en las subcuencas, la pendiente de las mismas y otros parámetros hidrogeológicos importantes.

3.2 *Geomorfología*

La morfología de las Sierras de Guasayán, se caracteriza por un relieve bajo, cuyas alturas no sobrepasan los 800 m, presentando un fuerte componente estructural y en forma subordinada las características petrológicas del macizo. El fallamiento de tipo regional ha generado una serie de bloques volcados, quebradas y una morfología de lomadas asociadas a las formaciones sedimentarias terciarias adosadas al basamento.
Las zonas de lomadas son en algunos casos entrecortadas, formadas por sedimentos de la Formación Guasayán, donde el yeso y las arcillas pardas y verdes son los elementos principales, ligeramente plegados y con un fuerte proceso erosivo. En el ambiente granítico, el diseño del drenaje es marcadamente rectangular, siendo en general poco denso, con redes cortas hacia el Este, y con pendientes suaves hacia el Oeste.
Los sistemas de escurrimiento superficial se han desarrollado ajustándose a los patrones litológicos con un fuerte control estructural (ver figura 2). La parte Norte de la Sierra, desde Abra del Martirizado hasta la Quebrada de Guasayán, se caracteriza por cursos cortos, una red poco densa, de escasa profundidad, siendo en su mayoría de diseño rectangular, con fuerte erosión sobre el faldeo oriental de la falla principal. Desde esta quebrada hasta la parte sur en Villa La Punta, la red de drenaje presenta una configuración dendrítica, con una mayor densidad y en algunos casos el diseño se torna subparalelo.
El análisis de la red de avenamiento, desde el punto de vista morfométrico (Leyes de Horton), determina que la misma es poco jerarquizada, puesto que los cauces de primer orden, no tienen ramificaciones.
La densidad de drenaje es muy baja, lo cual podría indicar que la infiltración es superior al coeficiente de drenaje, asociado a una superficie morfológica mal drenada.

3.3 *Hidrogeología*

La cuenca presenta en general un sistema de flujo local poco jerarquizado, la zona de recarga y descarga se refleja en la topografía de la zona y

en la hidrogeoquímica del agua. Al no existir una cubierta sedimentaria de alta permeabilidad adosada al basamento, el sistema origina un escaso aporte al flujo subterráneo regional.

Una característica geomórfica particular, es la cubierta terciaria adosada al basamento en su flanco occidental. Prácticamente a lo largo de toda la sierra, se observan como lomadas suaves de escasa altura levantadas por el Oeste, conligera inclinación hacia el Este. Presentan engeneral una red de escurrimiento de tipo dendrítico. El agua subterránea, se manifiesta dentro del flujo local, sobre formaciones geológicas, con patrones litológicosdiferentes, no sólo por la dimensión de los cuerpos sino por su estructura, permeabilidad y extensión. En la cuenca el agua se infiltra, almacena y circula dentro delmismo ambiente del basamento cristalino por porosidad secundaria, y un modelo de flujo donde el agua descarga hacia las unidades menores de relleno sedimentariomoderno. Además, circula hacia las formaciones sedimentarias terciarias adosadas tanto a oriente como occidente del complejo rígido.

El agua alojada en el macizo cristalino, es la de mayor interés hidrogeológico, puesto que la composición y estratigrafía de las secuencias sedimentarias de naturaleza palustre/lacustre, presentan un fuerte componente mineral (sulfato y cloruros de Ca, Na, y Mg), que originan una importante contaminación del agua subterránea, condicionándola en sus usos y aplicaciones.

El agua alojada y con circulación restringida en el complejo petrológico principal, presenta acuíferos discontinuos y libres, asociados a una red de fracturas abiertas y conectadas. Los registros existentes sobre los caudales de las vertientes que prevalecen sobre el faldeo oriental, y de menor desarrollo sobre las vertientes occidentales, presentan volúmenes con poca variabilidad estacional. Las mismas son captadas, en pozos de escasa profundidad, en formaciones por lo general adosadas a rocas graníticas o metamórficas alteradas mecánicamente.

Tabla 3. Vertientes de la zona

Vertientes	Caudal litros/hora	Tipo de Roca
V. La Punta a	743	Esquistos, Margas
V. La Punta b	870	Esquistos, Margas
F. Martilotti	1.150	Esquistos, Margas
El Ojito	984	Conos Deyección.
Villa Guasayán	1.750	Arcilla Yesífera
Sinchi Caña	497	Suelo y Arena
Maquijata	410	Granito
Virgen Yacu	397	Granito
Yacu Atu	879	Granito
Cantera Pérez	860	Granito
Conzo	504	Granito

Las vertientes, que se detallan en laTabla 4, conocidas desde tiempos prehispánicos, aprovechadas por los pobladores y colonizadores españoles, aun hoy aportan sus aguas para sostener pequeñas comunidades rurales, de ellas, sólo una descarga sus aguas sobre el faldeo occidental (Villa Guasayán) y es de agua salada. Las mediciones realizadas en el año 2.001, no han experimentado variaciones significativas, con relación a valores históricos, tomado por Beder (1923) y Ruiz Huidobro (1967).

3.4 *Antecedentes de Mediciones Geoeléctricas Casos de Estudio*

El modelo hidrogeológico empleado en la prospección geoeléctrica, surge del patrón geológico, de sus condiciones tectónicas y de la cubierta sedimentaria terciaria, resumiéndolo como esquema conceptual en el Tabla5. La interpretación cuantitativa de las curvas de resistividad se realizó con el Software interactivo, Resix Plus.

Tabla 5. Mediciones geoeléctricas

Formación Geológica	Modelo Geoeléctrico	Hidrogeología
Recientes	100 Ω/m	Zona no saturada
Guasayán	5 a 50 Ω/m	Acuitardos Aguas saladas
Basamento Cristalino Alterado	100 a 500 Ω/m	Acuíferos libres Aguas aptas.
Basamento Cristalino Sano	≥ 1.000 Ω/m	Basamento. Hidrogeológico Acuífugo

3.4.1 *Área Villa La Punta*

En esta microcuenca analizada en el sector sur de la sierra, se ubican quebradas importantes que descargan sus aguas hacia el sur, mientras que, en el flanco oriental, donde se localiza esta población, son conocidas las vertientes desde la época prehispánica, con aguas de buena calidad química, pero con caudales insuficientes. También el agua se extrae de pozos cavados de gran diámetro, que almacenan agua que circula por un granito muy alterado, resultando escaso para consumo humano, puesto que luego de un par de horas de bombeo los pozos agotan sus reservas.

La investigación trató de verificar la posibilidad de detectar la profundidad del basamento cristalino y esquistoso y el estado de alteración del mismo. Se trabajó sobre una franja donde en parte el granito aflora, mientras que la mayoría de la superficie, está cubierta por una acumulación clástica caótica.

Los sondeos eléctricos, presentan similitud con los realizados en La Represa y Las Juntas, pero reflejan condiciones hidrogeológicas propias. La interpretación realizada sobre la base de valores resistivos muy contrastados, fue comprobada en un pozo realizado para reconocimiento y valoración de los datos.

En la Figura 3, se puede apreciar la configuración de la curva de resistividad de campo, que refleja el siguiente perfil. Las capas superiores que nunca son más de dos, no presentan interés hidrogeológico, con un espesor de 1,50 m y resistividades de 150 Ω/m. Infrayace una capa de 300 Ω/m, que representa una capa de cantos rodados y gravas gruesas hasta 7,40 m, luego la curva de campo se torna descendente de baja resistividad.

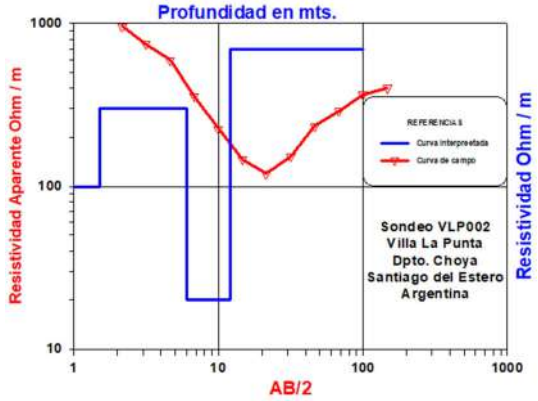


Figura 3: Curva de campo y curva interpretada de la localidad de Villa La Punta.

Esta tercera capa conductiva, con valores de 20 Ω/m, se suponía de interés hidrogeológico, pero el pozo cavado realizado, permitió comprobar la existencia de la formación Guasayán, donde a partir de los 17 m de profundidad, el agua comenzó a drenar, alcanzado un nivel final de –4.20 m.

El final de la curva de campo presenta una rama ascendente con valores superiores a los 600 Ω/m, lo cual refleja la existencia del basamento sano. Es posible en este caso que el agua que descarga el granito hacia el Este, lo haga por el contacto con la formación terciaria, las características químicas del agua presentan valores altos en el ión sulfato.

3.7.2 Área Las Juntas

Esta zona se ubica sobre el flanco oriental de la sierra, próximo a la Quebrada de Conzo, en un ambiente netamente granítico, con un rumbo de la falla principal de 8º Este. La red de drenaje de esta cuenca es de tipo angular y descarga hacia el este.

Los electrosondeos verticales, se ubicaron sobre un dominio estructural adecuado, en la zona distal de la cuenca. Las curvas de campo obtenidas, reflejan las condiciones geológicas asociadas a tres capas, en el Figura 4, un modelo que lo caracteriza.

La primera capa resistiva, representa un aluvión muy suelto, de deposición caótica, con bloques angulosos con poco transporte y un espesor de 3 m, esta capa no saturada manifiesta valores resistivos de 100 a 150 Ω/m. Esta unidad se apoya sobre una capa de sedimentos más finos, con matriz arenosa, sedimentos de ambiente continental de menor resistividad que la superficial.

La interface con la tercera capa, se ubica a los 6,6 m de profundidad, donde se ubicaron sedimentos palustres perteneciente a una cuenca de baja energía, con arcillas verdes yesíferas y valores resistivos que se ubican entre los 10 a 25 Ω/m. Este horizonte resistivo presenta características negativas para la circulación y almacenamiento de agua subterránea. Dada la poca extensión de la línea de emisión de corrientes AB, no fue posible alcanzar al basamento cristalino.

Sin duda que la existencia de la formación Guasayán adosada al granito aflorante en este sector oriental, crea condiciones hidrogeológicas

negativas, al no existir formaciones de sedimentos de textura gruesa.

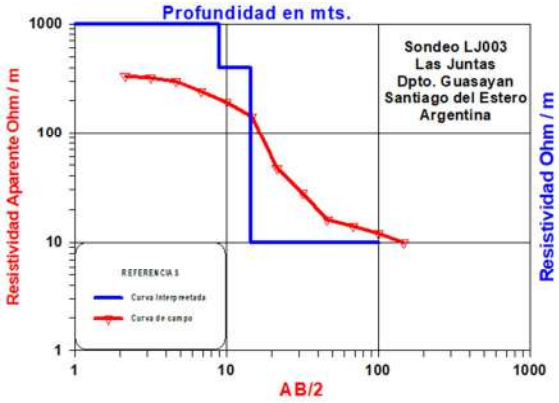


Figura 4: Curva de campo y curva interpretada de la localidad de Las Juntas.

3.7.3 Área La Represa

La cuenca estudiada, Figura 5, presenta una superficie de 7,4 Km^2, con una morfología elongada en el sentido Este/Oeste, y una red de drenaje de tipo dendrítico/angular.
En el ambiente geológico, prevalece el granito, con escasa cubierta sedimentaria y una morfologíapeneplanizada con lomadas suaves.

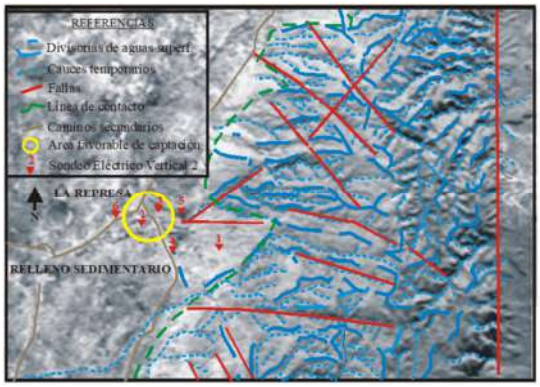


Figura 5: Red de drenaje de la cuenca

Las curvas de resistividad aparente, Figura5, respondieron al modelo establecido, ajustándose la interpretación de las mismas a referencias de campo. En su mayoría responden a un modelo de tres capas. La curva representa a un corte integrado por 1 m de limos loéssicos calcáreo, 7 m de aluvión suelto no saturado y hasta la profundidad de 27 m granito fresco, con escasa fisuras y diaclasas, no detectándose según el pozo cavado, ninguna filtración de agua subterránea.

Mientras que se ubicaron un par de electrosondeos, sobre un área ubicada en función de la estructura, red de drenaje y convergencia de líneas de flujo superficial y en este caso el modelo de tres capas, respondió a niveles superiores fanglomerádicos, que apoyan sobre un basamento cristalino alterado mecánicamente (150 a 370 Ω/m), hasta los 56 m de profundidad, donde la interface eléctrica asume valores de unos ≥ 600 Ω/m, interpretándose como granito sano impermeable. Esta zona fue perforada y se colocó cañería de 160 mm de diámetro, obteniéndose caudales de 10 m^3/h.

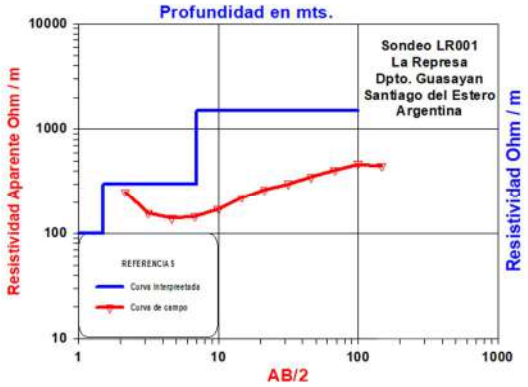


Figura 6: Curva de campo y curva interpretada de la localidad de Villa La Punta

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En la comarca de Guasayán, donde prevalece el basamento cristalino, la hidrogeología está condicionada por la tectónica, la red de diaclasas y el grado de alteración del granito, en segundo término, es importante la posición y naturaleza de la cubierta sedimentaria de edad terciaria.
- El acuífero libre en este ambiente, se presenta en dominios petrológicos diferentes. Los de menor significación son los ubicados en depósitos de edad reciente (holoceno), escasamente representados, que suelen alojar agua de buena calidad química, pero caudales insuficientes. La formación Guasayán adosada al basamento en sus dos flancos, posee acuíferos libres de mala calidad química, por la concentración de cloruros y sulfato de calcio, magnesio y sodio, en un medio de baja velocidad del flujo, como consecuencia de su constitución pelítica.

- La cuenca en el ambiente granítico, presenta un sistema de flujo local, donde el acuífero libre, se manifiesta a través de vertientes que en su mayoría descargan hacia el Este, en contacto con la falla principal. Son de caudales regulares y su calidad es apta para consumo humano.
- Las condiciones hidrogeológicas varían mucho en toda la sierra, donde los parámetros más importantes a tener en cuenta son la superficie de la cuenca, la intensidad de la fracturación, el grado de aberturas en el dominio tectónico y las condiciones mecánicas del basamento rígido en el subsuelo.
- Se ha determinado que la principal familia de diaclasas abiertas, son paralelas o subparalelas a los esfuerzos compresivos, y perpendicular a los esfuerzos de extensión de dirección Norte/Sur. Estos parámetros, visibles y mapeables con la utilización de fotografías aéreas y control de campo, permiten la aplicación de electrosondeos verticales en un medio caracterizado por una singular anisotropía textural.
- Los caminos o líneas de trabajo aplicados, han permitido, basándose en los criterios utilizados, arribar a conclusiones adecuadas, para mejorar el conocimiento hidrogeológico de una cuenca con predominio de rocas duras, optimizando y disminuyendo los riesgos en la captación de agua subterránea.

BIBLIOGRAFIA

Academia Nacional de Ciencias(1976). *II Simposio de Geología Regional Argentina*. Córdoba. Vol. I.

Battaglia, A. (1982). *Descripción geológica de las hojas 13f, Río Hondo, 13g, Santiago del Estero,14g, El Alto, 14h, Villa San Martín, 15g, Frías, Prov. Sgo. del Estero. Servicio Geológico Nacional.* Boletín Nº 186.

Beder; R. (1928). *La Sierra de Guasayán y sus alrededores, una contribución a la Geología e Hidrogeología de Santiago del Estero.* D.G.M Publicación 39. Buenos Aires.

Billings, M. (1972. *Geología Estructural*. Ed. Eudeba. Bs.As.

Custodio, E Llamas, M. (1983). *Hidrología Subterránea. Tomo II*. Editorial Omega. Barcelona.

Horton, R. (1945). *Erosional development of streams and their drainage basins hydrophysical aproach cuantitative morphology.*Geol. Soc. Amer. Bull.56:275-370pp.

Omil, M. (1992). *Geologia y Geocronologia de la Sierra de Guasayán. Provincia de Santiago del Estero.Tesis Doctoral.* UNT.F.C.N e I.M.L.

Orellana, E. (1982). *Prospección Geoeléctrica Corriente Continua*. Paraninfo.Madrid

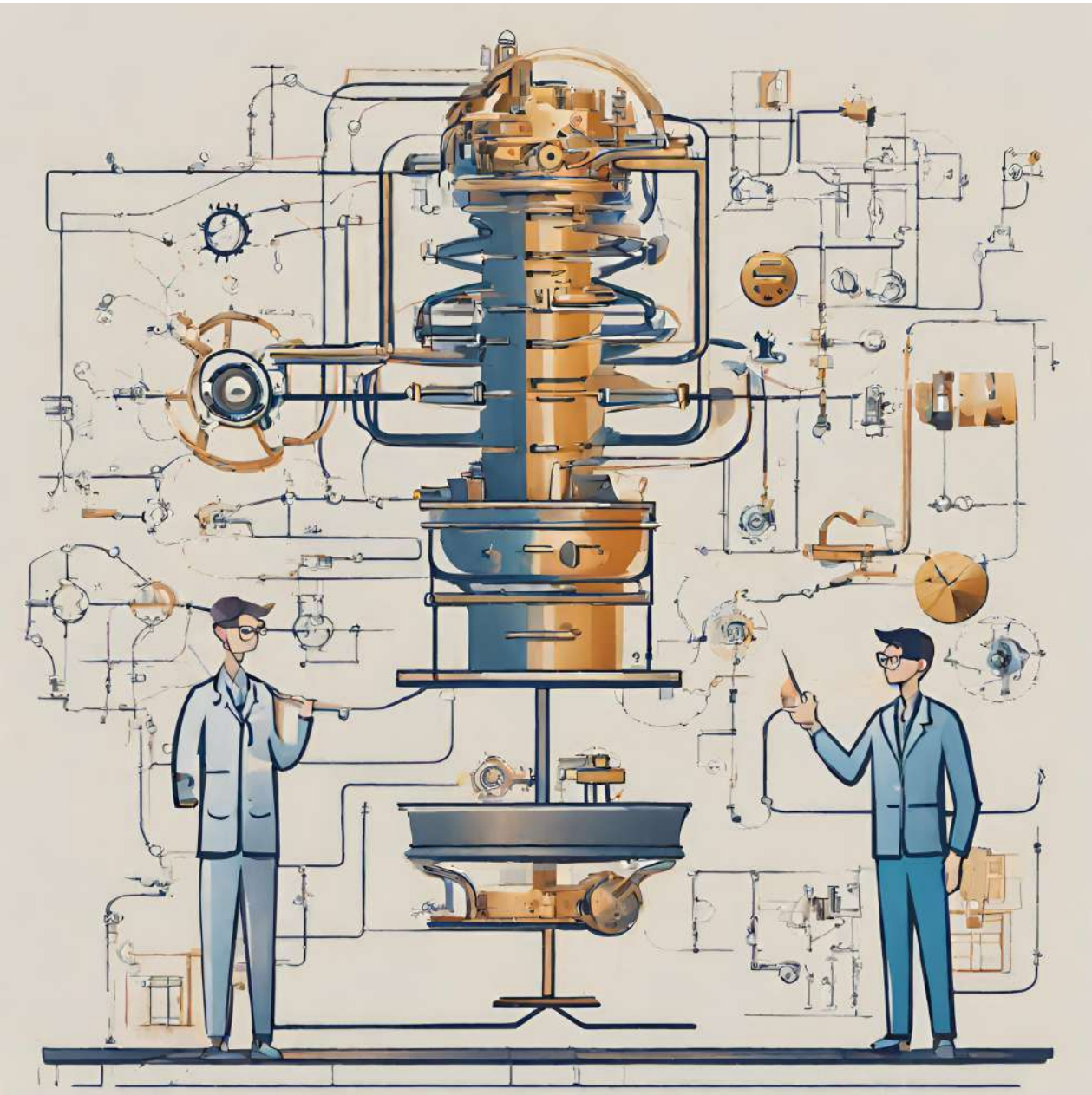
Resix Plus. (1992) *User manual. DC Resistividad. D.I. Software*. Golden Colorado.

Ruiz Huidrobro, O.J. (1973). *Hidrogeología de la Sierra de Guasayán.* An. VI Cong. Nac. Agua. Santiago del Estero. Sec.Hidrog. 5-272.

Stappenbeck, R. (1921). *Geologie und Grundwasserkunde der pampa M. T. I-III*.Stuttgart.E.N. G.mb.H

Torres Bruchmann, E. (1981). *Climatologia General y Agricola de la Provincia de Santiago del Estero.* UNT.F.A.Z. Dpto. Ecologia.Public. 1301.

FORESTAL, AGRONOMÍA Y ALIMENTOS



Evaluación sensorial de infusiones artesanales elaboradas con materiales foliares de plantas del Noroeste Argentino

Aucachi, Analía C.[1]; Bazalar Pereda, Mayra S.[1,2.], Viturro, Carmen I.[1,2.]

(1) Laboratorio PRONOA, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.

any.aucachi@gmail.com; mayrasbp@gmail.com; civiturro@fi.unju.edu.ar

(2) CIITeD-CONICET, Universidad Nacional de Jujuy, Ítalo Palanca N°10.

RESUMEN

Se formularon infusiones artesanales a partir de las hojas de molle (*Schinus areira* L.), muña-muña (*Clinopodium gilliesii* Benth. Kuntze) y mango (*Mangifera indica* L). Las formulaciones que presentaron mayor actividad antirradicalaria fueron seleccionadas para ser evaluadas sensorialmente. La evaluación se realizó con un panel no entrenado, consumidores habituales de infusiones. Se utilizó una escala hedónica de 9 puntos para evaluar la aceptabilidad sensorial (aroma, sabor, color y agrado general). Se solicitó describir las muestras a través de preguntas CATA. Un Análisis Factorial de Correspondencia (AFC) facilitó definir el perfil sensorial descriptivo de cada infusión. La infusión I6 formulada con 33% de hojas de muña-muña y 67% de hojas mango, obtuvo una mejor aceptación con respecto al color, aroma, sabor y agrado general con puntuaciones entre 6,90 y 7,40. El AFC mostró que los jueces caracterizaron a I6 como una infusión de color claro, con aroma herbal, sabor suave y refrescante. Probablemente, estas características influyeron en la preferencia del panel sensorial, a diferencia de las otras formulaciones evaluadas que se relacionaron más con un color intenso, sabor fuerte y medicinal, regusto y astringencia.

ABSTRACT

Artisanal infusions were formulated from the leaves of molle (*Schinus areira* L.), muña-muña (*Clinopodium gilliesii* Benth. Kuntze) and mango (*Mangifera indica* L.). The formulations that presented the highest antiradical activity were selected to be sensorially evaluated. The evaluation was carried out with a panel of non-disorders, habitual consumers of infusions. A 9-point hedonic scale was obtained to assess sensory acceptability (aroma, flavor, color, and general grade). The samples will be described through CATA questions. A Correspondence Factor Analysis (CFA) made it easier to define the descriptive sensory profile of each infusion. The I6 infusion formulated with 33% muña-muña leaves and 67% mango leaves, obtained better acceptance with respect to color, aroma, flavor and general liking with bases between 6.90 and 7.40. The AFC showed that the judges characterized I6 as a light-colored infusion, with a herbal aroma, smooth and refreshing flavor. Probably, these characteristics influenced the preference of the sensory panel, unlike the other evaluated formulations that were more related to an intense color, strong and medicinal flavor, aftertaste and astringency.

Palabras claves: Infusiones artesanales- Atributos sensoriales- Agrado general.

Keywords: Artisanal infusions- Sensory attributes- Overall acceptance.

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, hay una tendencia importante por el desarrollo de nuevos productos que no sólo sean nutritivos, sino que además tengan un efecto benéfico en el organismo, tanto para mejorar el estado de salud como para reducir el riesgo de ciertas enfermedades.

En un producto alimenticio, la calidad está determinada no sólo por la cantidad y calidad de los nutrientes presentes y la seguridad higiénico-sanitaria, sino también por la aceptabilidad sensorial. La aceptación o el rechazo de un producto está relacionado con la percepción subjetiva del consumidor, es decir aspectos ligados a sus preferencias en cuanto a color,

aroma, sabor, textura, consistencia, presentación del producto, entre otros atributos.

El análisis sensorial es un método científico utilizado para evocar, medir, analizar e interpretar las reacciones a aquellas características de alimentos que son percibidas por los sentidos de la vista, olfato, gusto, tacto y oído (Casiello, 2017). No existe otro instrumento que pueda reproducir o reemplazar la respuesta humana; por lo tanto, la evaluación sensorial es considerada una herramienta importante dentro de la industria alimentaria (Severiano Pérez, 2019).

La región noroeste argentino es una de las zonas con mayor riqueza de especies biológicas en cuanto a sus diversidades agro ecológicas y genéticas. Dentro de esta región, la provincia de Jujuy, con sus distintas subregiones (Puna, Quebrada, Valle y Yungas), con particulares condiciones climáticas y fitogeográficas, provee un marco propicio para el crecimiento de distintas especies vegetales. Especies nativas de plantas aromáticas y medicinales, así como partes no tradicionales de plantas frutales presentan propiedades organolépticas que confieren aromas, colores y sabores diferentes en alimentos y bebidas, convirtiéndolas en insumos relevantes para la industria.

Diversas especies de plantas aromáticas y medicinales (PAM) que crecen en Jujuy fueron estudiadas respecto a su potencial biológico. Entre las especies estudiadas se destaca *Schinus areira* y *Clinopodium gilliesi* (Viturro et al., 2007; Cabana et al., 2012, Cabana et al., 2013; Celaya et al., 2016; Bazalar et al., 2018). Con respecto a la actividad biológica de *Schinus areira*, se investigaron las propiedades antioxidantes y antimicrobianas de extractos hidroalcohólicos de hojas y frutos de la especie vegetal y propiedades bacteriostáticas y bactericidas de aceites esenciales de la misma (Celaya et al., 2013; Bazalar et al., 2016; Celaya et al.,2016; Bazalar et al., 2017). Así también, extractos hidroalcohólicos y acuosos de *Clinopodium gilliesii* presentaron resultados destacables en actividad antirradicalaria contra los radicales DPPH•, superóxido y óxido nítrico *in vitro* (Cabana et al., 2013; Bazalar et al., 2016; Bazalar et al., 2017). Esta especie popularmente conocida como "muña-muña" es muy usada en infusiones por su aroma y por sus propiedades etnobotánicas.

Investigaciones de subproductos frutihortícolas han revelado la presencia de una amplia gama de compuestos bioactivos naturales que incluyen una diversidad de estructuras y funcionalidades, por lo que estos subproductos pueden considerarse excelentes recursos para la producción de nutracéuticos, alimentos funcionales y aditivos alimentarios. Recientemente, se ha prestado mucha atención a compuestos bioactivos obtenidos de diferentes partes no tradicionales de frutales: hojas, cáscaras, semillas, orujo, entre otras (Angiolillo et al., 2015). Investigaciones han demostrado que las hojas de mango (*Mangifera indica*) contienen compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes; así también, se obtuvieron resultados prometedores para ser usadas en el control de la glucosa en sangre, además de que el uso de estas hojas no presenta efecto adverso para la salud (Castro Morales, 2017).

En estudios preliminares realizados por los autores de esta investigación, se evaluó la actividad antirradicalaria en infusiones individuales de hojas de PAM y hojas de plantas frutales que crecen en distintas regiones de la provincia de Jujuy (Bazalar Pereda et al., 2016; Aucachi et al., 2021, Aucachi et al., 2022), a fin de seleccionar las materias primas para la formulación de una infusión artesanal con propiedades antirradicalarias y sensorialmente aceptable.

Con el fin de aprovechar y revalorizar la flora que crece en la provincia de Jujuy y su potencial funcional, el objetivo de esta investigación fue evaluar sensorialmente infusiones artesanales formuladas a partir de hojas de molle (*Schinus areira* L.), hojas de muña-muña (*Clinopodium gilliesii* Benth. Kuntze) y hojas de mango (*Mangifera indica* L).

Figura 1. Planta de Muña-muña (*Clinopodium gilliesii* Benth. Kuntze)

Figura 2. Hojas de molle (*Schinus areira* L.).

Figura 3. Hojas de mangos (*Mangifera indica* L.).

2 MATERIALES Y METODOS

Se recolectaron 2 kg de cada materia prima seleccionada en distintas regiones de la provincia de Jujuy: Las hojas de molle (*Schinus areira* L.) fueron colectadas de un ejemplar de *Schinus areira* previamente caracterizado (Celaya et al., 2016) en la localidad de Tilcara; hojas de muña-muña (*Clinopodium gilliesii* Benth. Kuntze) fueron recolectadas de la región Puneña en la localidad de Rumi Cruz (Departamento de Cochinoca) y las hojas de mango (*Mangifera indica* L) se colectaron de la región de los valles en la localidad de Perico. Cada materia prima fue llevada al laboratorio de PRONOA UNJu de la Facultad de Ingeniería. Se realizaron los correspondientes registros y se herborizaron las muestras con las correspondientes codificaciones. Se acondicionó cada material vegetal y se dejó secar a temperatura ambiente durante un periodo de 15 días. Se determino la humedad de cada muestra y se almacenó en bolsas de papel previamente identificadas.

Teniendo en cuenta las proporciones de cada materia prima según el diseño de mezclas Simplex Lattice (3:3) correspondiente a 10 puntos (10 mezclas) se formularon: 3 infusiones individuales de cada materia prima, 6 mezclas binarias generadas a partir de dos materias primas y una mezcla ternaria con tres repeticiones independientes, dando un total de 12 formulaciones. Se prepararon infusiones individuales según la usanza tradicional. Para ello, el material vegetal se molió en un molinillo eléctrico, se pesó un 1 g en un vaso de precipitado, se agregaron 100 mL de agua en ebullición (98°C), y se dejó reposar durante 5 min. Luego se filtró con papel de filtro de uso cualitativo. Para el caso de las mezclas se pesaron en las proporciones indicadas por el método de Simplex Lattice para conformar el gramo de mezcla y siguiendo el mismo procedimiento indicado en las infusiones individuales. Las 12 formulaciones fueron evaluadas en su actividad antirradicalaria con el método de DPPH• (Viturro et al., 1999). La actividad capturadora de radicales libres utilizando el radical DPPH• se determinó como EC_{50} (valor correspondiente a la concentración del extracto de muestra que disminuye la concentración de DPPH• al 50% de la inicial).

Se seleccionaron aquellas mezclas que presentaron los mejores resultados en actividad antirradicalaria (AAR) para ser evaluadas sensorialmente. La prueba sensorial se realizó en el Laboratorio de Análisis Sensorial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jujuy. El panel estuvo conformado por 32 jueces no entrenados, consumidores habituales de infusiones herbales, de ambos sexos (hombres y mujeres), en rango de edad entre 18 a 56 años. Cada evaluador recibió las muestras codificadas con números y letras aleatorias de tres cifras en forma monódica y en orden alternado de presentación (Fig. 4). Se evaluó la aceptabilidad de las infusiones en cuanto a color, aroma, sabor y agrado general (Fig. 5). La información suministrada por los panelistas en cuanto a sus preferencias, fue recolectada a través de una planilla de evaluación. Se utilizó una escala hedónica de 9 puntos con descriptores desde “me disgusta extremadamente” a “me gusta extremadamente”. Adicionalmente, se les solicitó a los panelistas que seleccionen los atributos sensoriales destacables de cada muestra a través de preguntas CATA para caracterizar las infusiones evaluadas. Se les presentó una lista de 14 atributos entre los cuales se le pregunto si las infusiones presentan astringencia, aroma herbal,

mentolado, con un color más claro u oscuro, dulce, con regusto, entre otros.
Se utilizó un análisis factorial de correspondencia (AFC) para visualizar la relación entre las formulaciones seleccionadas y las respuestas CATA de los evaluadores utilizando el software estadístico XLSTAT v.2020.

Figura 4. Presentación de las tres infusiones artesanales.

Figura 5. Evaluación sensorial de las mezclas de infusiones artesanales.

3 RESULTADOS Y DISCUSIONES

Se seleccionaron tres infusiones (Tabla 1) de las 12 formulaciones evaluadas, las cuales fueron las que presentaron mayor actividad antirradicalaria (menor valor de EC_{50}) que las infusiones formuladas con las materias primas individuales (Aucachi, 2022).

Tabla 1. Formulaciones de infusiones seleccionadas y actividad antirradicalaria (AAR)

Código de muestra	Hojas de muña-muña (%)	Hojas de molle (%)	Hojas de mango (%)	AAR EC_{50} (µg/mL)
I6	0,33	0,00	0,67	12,07±0,6[a]
I9	0,67	0,00	0,33	11,94±0,1 [a]
I10	0,33	0,33	0,33	11,44±0,1 [a]

Resultados expresados como valor medio ± desviación estándar.

La Tabla 2 muestra el promedio de los resultados obtenidos en la evaluación sensorial para cada atributo evaluado y el agrado general.

Tabla 2. Resultados de la evaluación sensorial utilizando escala hedónica de 9 puntos.

Muestra	Color	Aroma	Sabor	Agrado general
I6	7,1±1,0[a]	6,9±1,1[a]	7,5±1,1[a]	6,9±0,9[a]
I9	6,5±1,2[a]	6,1±1,4[a]	6,0±1,3[a]	6,2±1,1[a]
I10	6,8±1,3[a]	5,8±1,4[a]	6,9±1,4[a]	6,6±1,3[a]

Se puede observar en los resultados mostrados que todas las infusiones fueron sensorialmente aceptables al presentar valores por encima de la media. Si bien no hay diferencias significativas entre los valores tabulados, puede observarse que los panelistas prefirieron la infusión I6 por el color, aroma, sabor y agrado general. La infusión de la mezcla ternaria I10 obtuvo puntuajes aceptables en cuanto color, sabor y agrado, pero obtuvo la menor puntuación con respecto al aroma.
La infusión I9 fue la que obtuvo menos puntaje con respecto al color, sabor y agrado general, sin embargo, en el aroma presentó mayor puntuación que la infusión I10.
Los resultados obtenidos de las preguntas CATA fueron representados a través de gráficos radiales para cada infusión. Cada juez registró las características y atributos que consideraron

representativos para cada una de las infusiones presentadas.
La formulación I6 (33% de muña-muña, 67% de mango) fue caracterizada por los evaluadores como una infusión de color claro, sabor suave, mentolado y medicinal, con aroma herbal (Fig. 6).

Figura 6. Gráfico radial de respuestas a las preguntas CATA con respecto a infusión I6 (33% de hojas de muña-muña y 67% de hojas mango).

Los evaluadores definieron a la formulación I9 (33,3% de mango y 67% de muña-muña) como una infusión de color más intenso, con sabor fuerte, mentolado, medicinal y amargo, con aroma herbal. Los evaluadores no consideraron a esta formulación como refrescante. (Fig. 7).

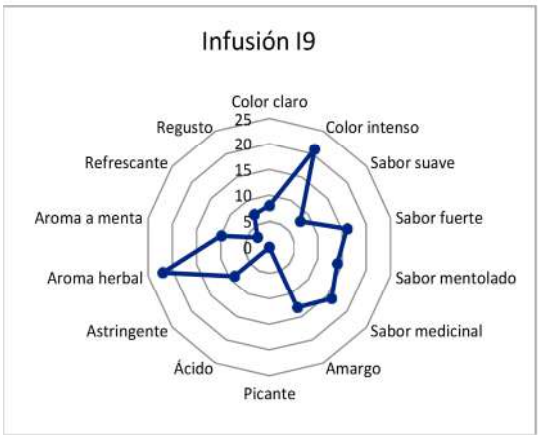


Figura 7. Gráfico radial de respuestas a las preguntas CATA con respecto a infusión I9 (33% de hojas de mango y 67% de hojas de muña-muña).

La infusión I10 (33,3% de muña-muña, 33,3% de mango y 33,3% de molle) fue considerada por la mayoría de los evaluadores de un color intenso, de sabor fuerte y medicinal, con aroma herbal (Fig. 8).

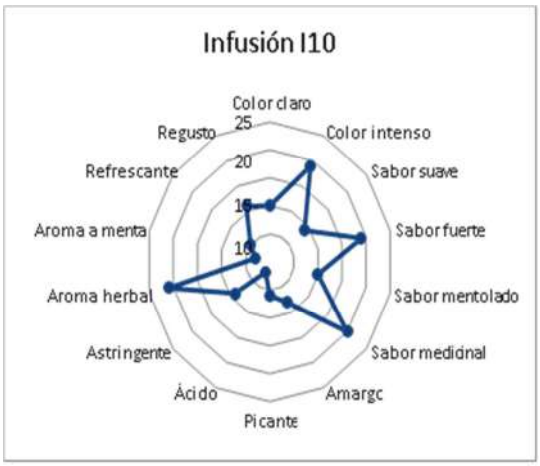


Figura 8. Gráfico radial de respuestas a las preguntas CATA con respecto a infusión I10 (33,3% de hojas de muña-muña, 33,3% de hojas de mango y 33,3% de hojas de molle).

Un análisis factorial de correspondencia fue elaborado para visualizar la correspondencia entre las tres formulaciones seleccionadas y las respuestas CATA del panel evaluador (Fig. 9).
El AFC permite diferenciar un perfil descriptivo para cada formulación. La Fig. 9 muestra que la mezcla I6 (33% de hojas de muña-muña y 67% de hojas mango), con mayor tendencia de preferencia, fue caracterizada principalmente como una infusión de color claro, de sabor suave y refrescante. Probablemente estas características pueden haber influenciado en la preferencia de los evaluadores, a diferencia de las infusiones I9 (predominio de hojas de muña-muña en la formulación) e I10 (proporciones iguales de hojas de muña-muña, molle y mango) que se encuentran más relacionadas con características como color intenso, sabor fuerte y medicinal, regusto y astringente.

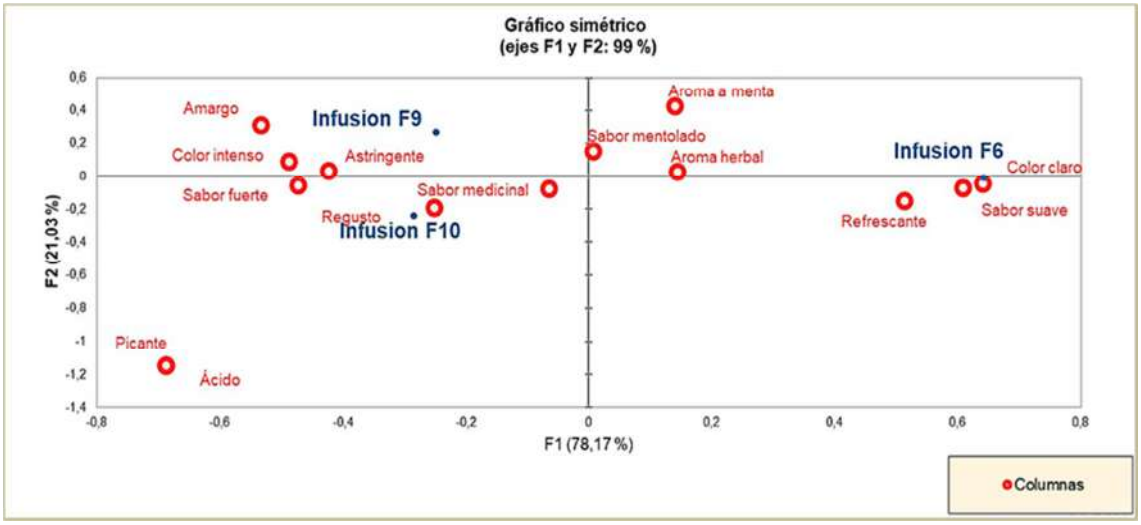


Figura 9. Gráfico de análisis factorial de correspondencia (AFC) de atributos destacados para las infusiones I6 (33% de hojas de muña-muña y 67% de hojas mango), I9 (33% de hojas de mango y 67% de hojas de muña-muña) e I10 (33,3% de hojas de muña-muña, 33,3% de hojas de mango y 33,3% de hojas de molle).

4 CONCLUSIONES

La infusión I6 formulada con 33% de hojas de muña-muña y 67% de hojas mango, obtuvo una mejor aceptación con respecto al color, aroma, sabor y agrado general. Esta formulación se caracterizó en su perfil descriptivo como una infusión de color claro, sabor suave y refrescante. Los resultados obtenidos en este trabajo, constituyen una primera aproximación a la valorización de las especies vegetales estudiadas, a través de su empleo en la formulación de infusiones no tradicionales. Se necesitan investigaciones posteriores que contribuyan a su reconocimiento como fuentes de compuestos bioactivos.

4 AGRADECIMIENTOS

Agradecer a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jujuy por la prestación de sus instalaciones y al proyecto SECTER D/0161.

5 REFERENCIAS.

Angiolillo, L., Del Nobile, M. A., Conte, A. (2015). The extraction of bioactive compounds from food residues using microwaves. *Revista Journal Current Opinion in Food Science*, 5: 93-98. https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.10.001.

Aucachi, A. C., Cabrera, L. F., Bazalar Pereda M. S. y Viturro, C. I. (13-15 de octubre 2021). Evaluaciones preliminares de actividades biológicas en extractos de hojas de plantas aromáticas y medicinales y plantas frutales de Jujuy (Argentina). [Congreso]. 9no Congreso Latinoamericano de plantas medicinales (COLAPLAMED). Latacunga, Ecuador.

Aucachi, A. C., Bazalar Pereda, M. S. y Viturro, C. I. (4-6 de octubre 2022). Evaluación de hojas de plantas aromáticas y medicinales y plantas frutales de Jujuy para la formulación de infusiones artesanales. [Congreso]. VIII Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (CICyTAl). Córdoba, Argentina.

Aucachi, A. C., Bazalar Pereda, M. S. y Viturro, C. I. (9-11 de noviembre 2022). Propiedades antirradicalarias de mezclas de extractos acuosos de plantas frutales y plantas aromáticas y medicinales de Jujuy. *Revista Dominguezia.* 38(S): 63.

Bazalar Pereda, M. S., Nazareno, M. y Viturro, C. I. (2016). Actividad Antirradicalaria de Extractos Polares de Especies Andinas: *Tagetes minuta, Clinopodium gilliesii, Schinus areira* y *Artemisia copa*. *Revista Dominguezia*, 32(2):22

Bazalar Pereda, M. S., Nazareno, M. y Viturro C.I. (16-18 de agosto de 2017). Actividad antioxidante de extractos polares de especies

andinas que crecen en Jujuy, Argentina. [Congreso]. V Congreso Latinoamericano de Plantas Medicinales. Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Bioquímicas, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.

Bazalar Pereda, M. S., Nazareno, M. y Viturro C. I. (2018). Decocciones de especies que crecen en Jujuy: Actividad antirradicalaria y contenido de fenoles totales. *Revista Dominguezia*, Vol. 34(4) P: 52-53.

Bazalar Pereda M. S., Nazareno M. y Viturro C. I. (15-17 de agosto 2018). Actividad antirradicalaria y contenido fenólico de infusiones de especies andinas que crecen en Jujuy, Argentina. [Congreso]. VI Congreso Latinoamericano de Plantas Medicinales. Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.

Cabana, R., Viturro, C. I., Heit, C. I., Saluzzo, L. y Vinholes, J. (2012). Avances en el estudio de *Clinopodium gilliesii* (Benth.) Kuntze de la provincia de Jujuy, Argentina. *Revista Dominguezia*, 28 (2): 71–72

Cabana, R., Silva, L. R., Valentão, P., Viturro, C. I. y Andrade P. B. (2013). Effect of different extraction methodologies on the recovery of bioactive metabolites from *Satureja parvifolia* (Phil.) Epling (Lamiaceae). *Industrial Crops and Products*, 48(0): 49-56.
https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.04.003

Casiello, M. A. (2017). Los sistemas sensoriales. Resumen del libro: Fundamentos de Psicobiología. Ed. Sanz y Torres – UNED.

Castro Morales, W. F. (2017). *Uso de las hojas de mango como alternativa natural con el control de la glucosa en las personas adultas del barrio San Juan en el D.M.Q.,* Instituto tecnológico Cordillera.

Celaya, L. S., Alabrudzińska, M. H., González, M. A., Molina, A. C., Viturro, C. I. y Moreno S. (2013). Composición química y actividad antibacteriana de aceites esenciales y extractos etanólicos de hojas y frutos de *Schinus areira* que crece en Jujuy. [Simposio]. XIX Simposio Nacional de Química Orgánica, Sociedad Argentina de Investigación en Química Orgánica, Mar del Plata, Argentina.

Celaya, L. S., Viturro, C. I., Silva, L. R. y Moreno S. (2016). Natural antioxidants isolated from *Schinus areira* leaves by ultrasound-assisted extraction. *Journal of Food Studies*, 5:167-179.
https://doi.org/10.7455/ijfs/5.2.2016.a5

Severiano-Pérez, P. (2019). ¿Qué es y cómo se utiliza la evaluación sensorial? *Interdisciplina*, 7(19), 47-68. Epub.
https://doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2019.19.70287

Viturro, C. I.; Molina, A. y Schmeda-Hirschmann, G. (1999). Free radical scavengers from *Mutisia friesiana* (Asteraceae) and *Sanicula graveolens* (Apiaceae). Phytotherapy Research 13: 422-424.

Viturro, C. I., Molina, A. C., Heit, C., Elechosa A. M., Molina, A. M., Juárez, M. A. (2007). Evaluation of the composition of the essential oils of *Satureja boliviana, Satureja odora and Satureja parvifolia* obtained from samples collected in Tucumán, Argentina. Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas, 6: 288 – 289.

Uso de TIC en áreas rurales periurbanas de San Salvador de Jujuy. Caso las mujeres de la feria Yala-Lozano-León.

Ayusa, Cristina Victoria[(1)] y Montenegro, Osvaldo David[(2)]

(1) *Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jujuy.*
cristinav.ayusa@gmail.com
(2) *Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Jujuy.*
montear2012@gmail.com

Resumen

En la Agricultura Familiar (AF) de Yala-Lozano-León, consideradas como áreas rurales periurbanas se plantea el problema de su transformación territorial desde el uso de las TIC. La investigacióntiene el objetivo de profundizar la forma de integración de la Tecnología de Información y la Comunicación (TIC) en el quehacer de los diversos actores implicados en la apropiación y en el proceso de adquirir y sociabilizar las habilidades digitales para mejorar la producción y comercialización de productosagropecuarios con valor agregado..

La investigación cualitativa exploratoria-descriptiva utilizó como herramientas las entrevistas semiestructuradas, debates y observación participante.El estudio permitió la participación de actores interesados en conocer el acceso y uso de las TIC en el territorio.

El caso de las mujeres de la Feria de Yala-Lozano-León nos enseña que el conocimiento está más mediáticamente expandido y no pertenece solamente al ámbito académicosino que cruza a distintos ámbitos y el dominio de las nuevas tecnologías y pone a las áreas periurbanas rurales en un plano de igualdad en el acceso a la informaciónpara el desarrollo en el territorio.

Palabras claves: TIC - agricultura familiar - redes sociales - extensión

Abstract

In the Family Agriculture (FA) of Yala-Lozano-León, considered as peri-urban rural areas, the problem of its territorial transformation arises from the use of ICT. The research aims to deepen the way in which Information and Communication Technology (ICT) is integrated into the work of the various actors involved in the appropriation and in the process of acquiring and socializing digital skills to improve production and marketing. of agricultural products with added value.

The exploratory-descriptive qualitative research used semi-structured interviews, debates and participant observation as tools. The study allowed the participation of actors interested in knowing the access and use of ICT in the territory.

The case of the women of the Yala-Lozano-León Fair teaches us that knowledge is more widely spread through the media and does not only belong to the academic field but also crosses over to different areas and the domain of new technologies and puts rural peri-urban areas on a level of equality in access to information for development in the territory.

Keywords: ICT - family farming - social networks - extension

1. INTRODUCCIÓN

En el ámbito económico, algunos investigadores coinciden en señalar que las TIC promueven el mejor funcionamiento de la comercialización de los productos agrícolas, por cuanto disponen de información instantánea acerca del comportamiento del mercado (Santini y Ghezán.2022). Otros, señalan que no juega un papel de importancia en el mercadeo, sino que la Agricultura Familiar (AF)tiene que aceptar lo que el comprador fija como precio y entonces las TIC no jueganun rol predominante en elfortalecimiento del mercado y los lazos sociales (CEPAL, 2016 y Rehber, 2017). Algunos autores plantean que lasTIC puedeser la salida al éxito de la AF para la venta de sus productos al poder realizar una oferta sin la participación de un intermediario en la cadena de valor (Arce y Rojas.2017).

Las instituciones internacionales para el desarrollo consideran la necesidad de la creación de un mercado digital regional en América Latina, favorecería la oferta y demanda del mercadeo y ayudaría a potenciar el uso de las TIC, el desarrollo productivoy social de la región (CEPAL 2013).El municipio de Yala avanzó en este sentido, apoyando la capacitación de mujeres de la AF en temas de costo, fijación de precios, aspectos bromatológicos a tener en cuenta en la preparación y venta de alimentos, la conectividad digital y el uso del pago electrónico. Se parte del concepto que el éxito de la recuperación económica y el impulso de una dinámica productiva depende de las políticas que se implementan y la cooperación comunitaria de la AF para aumentar la escala de la oferta, facilitar el comercio corto, reducir los costos de transacción y potenciar el desarrollo de capacidades (CEPAL, 2021).

Las TIC (indisolublemente ligadas a sus soportes electrónicos y software incorporados) irrumpen en la vida rural y juegan un rolesencial sobre el proceso de deslocalización de las comunicaciones y de muchasactividades vinculadas con el trabajo, el ocio, la adquisición de conocimientos yel acceso a información que, en Argentina, se incrementa sostenidamente desde la década de los noventa. Las computadoras y los teléfonos con multifunción a partir del androide, permiten realizar en cualquier lugar tareasque antes requerían de un espacio físico determinado. Esta deslocalización generanuevas formas e interacciones entre las personas. Asimismo, las nuevas tecnologías de la producción, información y comunicación searticulan de diferentes modos con la actividad de la AF permitiendo dilucidar nuevas lógicas productivas y formas de interacción.

El trabajo de investigación parte del concepto de " extensión " considerándolo como un proceso de transferencia de información con intencionalidad educativa para la AF, en aspectos de nuevas tecnologías,capacitación, información, asistenciatécnicay los procesos de educación no formal que se generan en el medio rural. Asimismo, consideramos a las TIC como herramientas que pueden incidir en diferentes esferas de la vida pública, en el ámbito de la política y específicamente en lo que corresponde a la ciudadanía y los derechos civiles y sociales (CEPAL,2013).La adopción de las TIC es clave para competir, expandir oportunidades y lograr una exitosa inserción en las cadenas globales de valor. Para la AF que proveen a la canasta básica de alimentos de la ciudad, esta adopción se acentúaen tres aspectos: el acceso al financiamiento, la producción y los circuitos de logística y comercialización (Ayusa y Montenegro, 2010).

2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El trabajo de investigación plantea como objetivo el profundizar la forma de integración de las TIC en el quehacer de los diversos actores y factores de las áreas rurales de Yala-Lozano-León con la finalidad de identificar oportunidades de innovación que permitan impulsar iniciativas encaminadas a mejorar la conectividad para la producción desde una investigación explotatoria.

El estudio no pretende ser representativo a nivel local, provincial ni nacional, se considera que el caso propuesto presenta significancia por cuanto los criterios de selección se relacionaron con el nivel de marginalidad, la movilidad poblacional dentro del territorio y la ubicación geográfica del área rural periurbana Yala-Lozano-León. La investigación se desarrolló en el marco del municipio de Yala, localizado al ingreso del la Quebrada de Humahuaca Patrimonio Cultural y Natural de la Humanidad.

En las localidades de Yala, Lozano y León según el Censo Nacional de Poblaciones, Hogares y Viviendas 2010, tienen 4611, 630 y 431 habitantes respectivamente. Se distinguen por ser

una comunidad conformada por agricultures y ganaderos de la AF; pueblos originarios, artesanos del pan y elaboran productos con valor agregadodesde materia prima del campo. Estas comunidades tienen como particularidad una amplia movilidad poblacional desde las actividades agropecuarias, el turismo y lo periurbano rural – ciudad.

La metodología utilizada privilegió las diferentes técnicas cualitativas para la recopilación de datos. En la investigación de campo se interactuó concon mujeres y hombres de distintas edades y ocupaciones. Se prestó atención a los actores, la producción, la demanda y las unidades domésticas. Se utilizó la observación participante, entrevistas semiestructuradas y debates. A continuación se describe brevemente la forma particular en que utilizamos cada una de estas técnicas de investigación.

a) La Observación participante; durante un periodo de tres meses se compartió en forma abierta la vida cotidiana de la AF, mirando lo que pasaba, escuchando lo que se decía y participando en las actividades en relación al uso de las TIC. La observación participante nos permitió explorar la dimensión ética del uso y apropiación de las TIC por parte de los actores.
b) Entrevistassemiestructuradas: esta herramienta ha rescatado los temas relevantes respecto al uso particular que dan a las TIC en su vida cotidiana. Se pudo seleccionar los temas relevantesal dejar a los actores la libertad de profundizar en temas de su interés particular. La metodología permitió explorar la apropiación de las TIC por parte de la AF en el territorio objeto del estudio. Debates grupales: se realizaron una serie de discusiones grupales con la finalidad de contrastar los puntos de vista de los diversos actores en un mismo tiempo y espacio. El número de participantes en cada grupo varió; en algunos casos sólo fueron 4 personas y en otros hasta 10-20. Esta técnica fue de utilidad al permitir debatir a los participantes puntos de vista sobre sus usos, preferencias y expec-tativas en relación a las TICs.

En cuanto a la sistematización, el análisis de la información, las actividades se registraron encuadernos; las entrevistas e interacciones fueron transcritas y sistematizadas en relación a los temas de investigación para finalmente triangular los datos de la investigación.

3. RESULTADO Y DISCUSIONES

A partir de lecturas en fuentes primarias se planteó la necesidad de realizar una aproximación desde la dimensión ética acerca del uso y apropiación de las TIC por la AF en el territorio. La pregunta planteada es: ¿Las TIC favorecen a los actores o aumenta la brecha económica?. Se aborda el estudio desde tres teorías éticas que se consideran convenientes al plantearse estudios de economía: el deber de Kant (1724-1804), la Teoría Utilitarista (1748-1832) y la Teoría de la Justicia Distributivao Justiciacomo Equidad (desarrollada por JohnRawls, 1921-2002). Estas teorías son utilizadas en los planteos éticos de problemas económicos, donde en este caso las TIC tienen un rol importante y en segundo lugar las teorías son de diversos tiempos lo que permite un análisis no sesgado por la temporalidad.

ººLa teoría de la ética de InmanuelKant dice que una acción o situación es ética cuando esrecta en sí misma, es decir, cuando los motivos que subyacenen ella son éticos y justos (Jurado y Lafuente 2005).En este caso el uso de las TIC son éticas al buscar el beneficio para toda la AF sin distinción de género, edad, área de la producción y existen situaciones de incentivar la iniciativa emprendedora en el territorio.

La Teoría Utilitarista de Jeremy Bentham (1748-1832) y John Stuart Mill (1806-1873) sostiene como objetivo el conseguir el beneficio a futuro (Bowie,2002). Si la aplicamos para las TIC que tienen la posibilidad cierta de mejorar la situación socioeconómica de un mayor número de personas, se podría considerar que su implementación y utilización es ética en este caso.

Finalmente, la Teoría de la Justicia Distributiva de John Rawls (1921-2002), es la que posiblemente por sus postulados se pueda ajustar al entorno de las TIC. Según este enfoque existen dos principios que deben gobernar la estructurabásica de una sociedad justa: primero, es necesario asegurar las libertades individuales fundamentales y segundo las desigualdades sociales y económicas deben tratarse de forma que se pueda lograr el mayor beneficio posible para los menos favorecidos de la

sociedad(Kukathas y Pettit, 2004; Rawls, 1993). Se observa en el territorio Yala-Lozano-León que el acceso a las TIC por la AF tiende al logro de establecer una comunidad con equidad desde el uso y la mejora en la economía.

En los campos jujeños tanto en puna y quebrada las TIC tienen un impacto mínimo en la mejora económica, salvo que trabajen con valor agregado en su producción de carne y fibra. En las AF periurbanas a la ciudad el planteo de la conectividad es muy distinto al utilizar el Whatsapp y Facebook para intercambiar información, datos, precios, saberes, asistencia técnica e información del mercado, por cuanto se convierte en una herramienta de importancia para las actividades socioeconómicas.

El municipio de Yala junto a un grupo de docentes que realizan extención desde la Facultad de Ciencias Agrarias y la Facultad de Ingeniería UNJu, inicialmente fortalecen las actividades de la feria del Pan Casero y organización de la feria de Yala-Lozano-León, con la participación de treinta familias. En marzo de 2022 se constituye una organización de mujeres de la AF e impulsan en un espacio físico en la plaza de León la primer feriade productos de la gastronomía local y productos artesanos de alimentos.

El primer encuentro cierra con una demanda concreta de la ciudad a las mujeres de la AF de la posibilidad deventa de platos regionales durante o los fines de semana y allí acuerdan el uso de Whatsapppara la oferta/demanda. Por otra parte los artesanos de queso y dulce de leche de cabra, deciden trabajar con Facebook y whatsapp para la venta directa a la ciudad. De esta forma, la feriade ser un espacio físico localizado en un punto geográfico pasa al espacio virtualcon el uso de las TIC y se tiene un canal corto de comercialización desde el área rural periurbana de Yala-León-Lozano con la ciudad. Hoy se tiene un uso creciente de las TIC por parte de la AF para la venta de productos frescos de la huerta, quesos de cabra, comidas regionales y productos con valor agregado: dulces, encurtidos, licores, etc.

En una segunda realización de la feria se tiene la visita la visita de turistas y se plantea el problema de realizar los cobros en pesos y el turismo ofrece pago electrónico. Estoconlleva a las mujeres de la AF a una capacitación sobre el uso de medios de pagos electrónicos. Las mujeres de la AF de Yala-Lozano-León se apropian del uso de las redes sociales por considerarla como un “modelo de oportunidad para sus transacciones comerciales. Espíndola (2005) dice que muchas de las tecnologías disponibles podrían contribuir a agilizar la comunicación, almacenar y acceder a más datos, integrar la ciudad al campo, entre otros. Las mujeres de la AF desarrollan redes colaborativas a los fines de lograr intercambios en el territorio y sus pares mas lejanos.

Al tratarse de una investigación exploratoria y de tipo descriptiva, se ha realizado aproximaciones a algunos puntos y en otra investigación podrían ser estudiados en profundidad. Los equipos tecnológicos que se encuentran en el territorio son: celulares, televisión, radio y computadoras del tipo pc. Los jóvenes que estudian sueñan con disponer de aparatos tales como notebook, tablets e impresoras para ayudar con los avisos comerciales a sus familias.

El acceso a internet implica el uso de los datos móviles de los celulares al no disponer del servicio de fibra óptica en las tres localidades. De todas maneras, el tiempo que llevan utilizando las TIC es de más de cinco añocon el uso de celulares, televisión, radio e internet. En cuanto a la frecuencia de uso, los celulares y la televisión son empleados todos los días; siendo el celular el de mayor frecuencia (90%).

Respecto al uso de internet se encuentra que un porcentaje del 60% de las personas lo utilizan más de diez horas diarias para entretenimiento: juegos, música o videos, mensajería y llamadas en redes sociales. Los serviciospreferidos son WhatsApp; Facebook, YouTube y Google. No muestran interés por Instagran y Twiter pero si les interesa TikTok.

Observamos que el celular es la TIC por antonomasia y reemplaza a otrosaparatos dadas sus múltiples funciones: chatear, hacer y recibirllamadas, escuchar música, navegar por internet, enviar mensajes y ver videos. Las comunicaciones están centradas en sus amigos, padres, hermanos y familiares diversos.Se presenta como la herramientamasùtil para las ventas y el entrenamiento.

La percepción en el territorio en relación al uso que le dan a las TIC frente al que podrían darle muestra que los adultos (mayores 40 años) tienen un menor interés en el uso porque se ven obligados a desarrollar habilidades o conocimientos y deciden utilizarlas en menor medida. El sector mas joven tienen un mejor o mayor acceso a las TIC y uso permanente.

Las mujeres y jóvenes sostienen haber aprendido de manera autodidacta el manejo de las TIC y los adultos con la ayuda de otras personas. Hasta ahora las mujeres no se consideran expertas en el manejo de las TIC, entienden que necesitan aprender a realizar tareas básicas para sus ofertas al mercado, el sacar fotos, editar imágenes, pensar textos para atraer clientes, etc..

Observamos que si bien para una amplia mayoría en el territorio las TIC no las consideran como herramienta de importancia y si el uso del celular porque es un aparato que los acompaña en todo momento y sostienen que cuando no lo tienen les aparece la angustia.

Finalmente, la AF utiliza Whatsapp, Facebook desde los celulares y la radio como espacios de diálogo y reconexiónentre lo periurbano rural y consumidores de la ciudad. Por lo tanto, la apropiación de las TIC en espacios donde circulan las representacionesy prácticas compartidas se ve favorecida porque las TIC como tecnologíacomunicacional propicia espacios y procesos de toma de decisiones y acción colectiva (Díaz Bordenave, 2004).

La conectividad se realiza con mucho esfuerzo al no existir internet, se recurre al uso de datos móviles que son limitados en el celular por su costo o según el servicio que pueden comprar a las compañías.

> *"Inicialmente en la feria de Lozano y luego por whatsapp y facebook logramos clientes fijos, la mayoría de nosotros. Unos Habrá como entre 20 y 30 clientes que nos piden todas las semanas dulces y comidas casera. Unos 10 siempre compran empanadas. Hay personas que piden mensual. Es decir por semana y viawhatsapp entregamos entre 20 a 50 pedidos. Nos fallan los datos móviles muchas veces por agotarlo. Hasta que no tengamos wifi no vamos a poder andar mejor con la conectividad". (A.J.2022)*

La AF de esta manera alcanza los mayores ingresos desde la venta por Whatsapp y Facebook en un 80% y el resto cuando se realiza la feria como espacio físico de ventas. Se evidencia que las TICs desde la feria Yala-Lozano-León es una estrategia quebrinda apertura comercial a la AF y estabilidad en un entorno digital que no estáprivado por limitaciones espacio-temporales, es decir, cualquier persona, a cualquier hora ylugar puede gestionar una compra.

4. CONCLUSIONES

El caso de la feria Yala-Lozano-León nos plantea que la apropiación y el uso de las TIC se enfoca en poblaciones en condiciones desiguales de infraestructura y de conectividady otros factores de desigualdad social como la salud, educación, y el acceso a la tecnología, entre otras. En función de las tres teorías éticas propuestas brevemente en el trabajo, se puedeafirmar que las TIC no son ni negativas ni positivas como alternativa comunicacional en la AF, si hay que tener en cuenta que un mal uso puede generar situaciones no éticas al abrir brechas de desigualdad entre quiénes la usan y no la usan, por ejemplo.

Es importante la participación del municipio que impulsa el uso de las TIC en el ámbito económico del territorio, a partir de un apoyo técnico, económico y legal para alcanzar sustentabilidad en la producción de la AF. Asimismo es valiosa su voluntad política para favorecer el uso de estas tecnologías e incentivar las iniciativas y actividades que debenimpulsarse para avanzar hacia un uso más intensivo de las TIC.

Las TIC en el territorio periurbano rural de Yala-Lozano-León se ha expandido a partir de la falta de conexión con internet generando nuevas dinámicas en la vida cotidiana y como herramienta de comunicación ha permitido generar relaciones de mercado con la ciudad. Asimismo, el potencial de las TIC se ve limitado pordiferentes factores ligados al contexto y a la necesidad de cada usuario, el género, la edad, la actividad productiva que desarrolla, etc. Por esta razón, el aporte de las TIC al desarrollo en el territorio de la AF en este caso se lo puede considerar como un escenario socioculturalespecífico.

En el territorio a pesar de las limitaciones al no tener internet, el uso de las TIC ha permitido la creación de nuevos espacios deinteracción, en este caso por las mujeres al poder ofertar sus productos a la ciudad durante la semana y no en un encuentro mensual en un espacio físico.

El uso de Whatsapp, Facebook y la radio a partir del acceso a la telefonía celular y el uso de datos móviles muestra un uso de las TIC que recién se inicia y abre la posibilidad deincrementar el capital social de la AF con lazos hacia la ciudad y aún mas allá de sus fronteras; por ejemplo un

productor de queso de cabra logró un acuerdo de venta de su producción en mercados de Tucumán.
Por lo tanto, uno de los principales usos de las TIC es la venta de productos gastronómicos regionales por las mujeres, en segundo lugar la comunicación familiar con llamadas telefónicas, mensajes de texto y uso de las redes sociales como entretenimiento, sin dejar de lado el saludo o los encuentros cara a cara en el territorio.
Las mujeres rurales encuentran en las TIC espacios de privacidad,crecimiento, autoaprendizaje y autorrealización, si bien existen brechas y limitaciones en torno al acceso y uso de las tecnologías, según el equipo que dispongan y su capacidad de contar con datos móviles.El uso de las TIC lo aprendieron a usarpor sí mismas, sin ninguna o muy poca capacitación, hanlogrado manipular estas herramientas correctamente y usarlas para su propiobeneficio.
El municipio con el apoyo de una empresa privada ha conectado a la escuela de Yala-Lozano-León con Internet a los fines de realizar un acompañamientoa las necesidades de los usuariosy así puedan comprender que el uso de las TIC es un medio de aprendizaje, una forma de comunicación y entretenimiento.
A la fecha no se ha recibido apoyo desde el gobierno provincial para aumentar la oferta de servicios y la demanda periurbano rural, el caso de Yala-Lozano-León muestra la necesidad de la necesidad de iniciativas desde el estado que vayanmás allá de la expansión del acceso y se concentren en los procesos de uso y apropiaciónde las tecnologías. Es importante la generación de espacios en el territorio donde se pueda aprender a utilizar las TIC y consideren las características, los procesos y las dinámicas de los espacios periurbano rural o rurales propiamente dichos.
El casoferia de Yala-Lozano-León muestra la construcción social de la tecnología a partir de la influencia recíproca entre las TICs y la AF, desde sus prácticas sociales e históricas, dotando a aquellas de sentido en un contexto específico.
También se hace necesario ayudar a las personas mayores de edad a aprender a usar las TIC, por cuanto esto les facilitaría un mejor acceso a actividades rutinarias de la vida cotidiana.
Por otra parte, el uso de las TIC plantean a la AF la necesidad de capacitarse en aspectos de marketingde publicidad y relaciones públicas; a los fines de establecer nuevas relaciones desdelas redes sociales: Whatsapp y Facebook; medios de comunicación digitales y el email marketingorientados hacia la oferta de un alimento saludable, natural y de calidad.
El caso de las mujeres de la Feria de Yala-Lozano-León nos enseña que el conocimiento está más mediáticamente expandido y no pertenece solamente al ámbito académico sino que cruza a distintos ámbitos y el dominio de las nuevas tecnologías y ponea las áreas periurbanas rurales en un plano de igualdad en el acceso a la información para el desarrollo en el territorio.
Las TIC han promovido y fortalecido los procesos de cambio social como el comercio justo y la oportunidad de generar nuevos espacios de conocimiento.
Finalmente, este trabajo se considera puede contribuir a la discusión sobre los desafíos de las TIC como una herramienta que ayude a mitigar las brechas de desigualdad que afectan a las mujeres rurales de la AF en el marco del desarrollo local.

5. Bibliografía

Ayusa, C.V. y Montenegro O.D.(2010). *"Una aproximación al estudio de las TICs. Caso Palma Sola Jujuy"*.39JAIIO. SIE 2010.ISSN: 1851-2526. Página 1328.Disponible en: https://39jaiio.sadio.org.ar/sites/default/files/39jaiio-sie-13.pdf

Arce, L. y Rojas,G(2017). *Nuevas tecnologías y pequeños productores*. Pág. 159. Los Futuros del Mercosur. Nuevos Rumbos de Integración Regional. BID.

Bowie, N. E. (ed.) (2002): *Business Ethics.*Blackwell Publishers, Malden.

Espíndola, Daniel (2005).*TIC en la extensión rural:nuevas oportunidades.*Revista Electróni-ca ReDes. No. 1. Disponible en:http://www.cíbersociedad.net/archivo/articulo. php?art=196 Fecha de consulta: 1/02/2012.

CEPAL.2016.*Encadenamiento productivo y circuits cortos: innovaciones en esquema de producción y comercialización para la agricultura familiar.*

CEPAL.2021. *Recuperación Económica tras la Pandemia Covid-19. Empoderar a América Latina y el Caribe para un mejor aprovechamiento del comercio electrónico y digital. Publicación de las Naciones Unidas, Konrad-Adenauer-Stiftunge.V y Banco Interamericano de Desarroll.* ISBN: 978-9962-

732-05-1 (versión pdf). Naciones Unidas, Konrad-Adenauer-Stiftunge.V y BID, 2021

CEPAL.2013. *Entre mitos y realidades TIC, políticas públicas y desarrollo productivo en América Latina*. Sebastián Rovira y Giovani Stumpo(Compiladores). CEPAL.

CEPAL (2014). "Agricultura familiar y circuitos cortos: nuevos esquemas de producción,comercialización y nutrición". En Memoria del seminario sobre circuitos cortos. *Serie Semi-narios y Conferencias 77* (LC/L.3824). Santiago de Chile, 2 y 3 de septiembre de2013: 7-8.

Díaz Bordenave, J. (2004). "De la información agrícola a la comunicación para el cambiosocial". En Cimadevilla, G. y Carniglia, E. (eds.). *Comunicación, ruralidad y desarrollo. Mitos, paradigmas y dispositivos para el cambio*. Buenos Aires, INTA: 47-55.

Díaz Bordenave, J. (2004).*De la información agrícola a la comunicación para el cambio. social*. En Cimadevilla, G. y Carniglia, E. (eds.). Comunicación, ruralidad y desarrollo.Mitos, paradigmas y dispositivos para el cambio. Buenos Aires, INTA: 47-55.

INDEC. *Censo Nacional2010. Pág, web: https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-Tema-2-41-135*.

Jurado, Y. F. y Lafuente, E.V.2005. *Una visión ética de la utilización de las TIC*. Etica y Economía. Nº 823. ICE.

Kukathas, CH. y Pettit, P. (2004): *La teoría de la justicia de John Rawls y sus críticos.*Tecnos, Madrid.

Rawls, J. (1993): *La teoría de la justicia*. Fondo deCultura Económica, Madrid.

Rehber, Erkan. 2007. *Contract Farming. Theory and Practice.* ICFAI Books. The ICFAI UniversityExpres.

Santini Santiago y Graciela Ghezán.(2022) I*mportancia de las TIC en circuitos cortosde comercialización de alimentos*. ICT Relevance at Food Short Channels. Vol. 9, nº 26, 249-266, mayo 2022 | ISSN 0719-4994. Artículo de investigación. Rivar.Página web: https://doi.org/10.35588/rivar.v9i26.5588

Vacchieri, A y Jure, P. (2006). "*Tecnologías de la comunicación en las áreas rurales del NOA"*.Buenos Aires, Ediciones Ilustradas. Edición primera.

Biomordientes: uso de especies nativas de Santiago del Estero para el teñido y mordentado de lanas de oveja.

Badami, Pablo A.[1]; Barraza, Julio D.[1];González,Evangelina A.[1]

(1) Instituto Jardin Botánico. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Costanera Diego Maradona s/n. Santiago del Estero, Argentina; profpbadami@gmail.com

RESUMEN

El teñido con tintes naturales es una actividad artesanal ancestral. El paso crucial en el proceso lo constituye la fijación del tinte a la fibra. Para lograr esa fijación se emplean mordientes o sales metálicas que resultan tóxicas y perjudiciales para el ambiente. Una alternativa al uso de sales se encuentra investigando en los saberes populares dado que se conocen especies vegetales nativas cuyas cenizas se utilizaron como mordientes o biomordientes inocuos y seguros. En este trabajo se evaluó el uso de cenizas de especies nativas del monte santiagueño: jume (*Allenrolfeavaginata*), quebracho colorado (*Schinopsislorentzii)* y quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*). Con el objeto de comparar los resultados se utilizó alumbre como mordiente de referencia. Los análisis consistieron en teñir lana de oveja, elaborar muestrarios de colores y determinar los porcentajes de absorción del tinte por espectrofotometría UV-Vis, el pH del medio y el contenido de Na y K por fotometría de llama. Del análisis se observa que la mejor ceniza resulto ser la de jume, hecho concordante con el conocimiento popular.

ABSTRACT

The dyeing of textiles with natural dyes has been an artisanal activity since ancient times.The crucial step in the process is fixing the dye to the fiber. Typically, mordants or metal salts are used for this purpose, but they can be toxic and harmful to the environment. As an alternative to using salts, traditional knowledge is being investigated, as there are native plant species whose ashes have been used as harmless and safe mordants or biomordants. This study evaluated the use of ashes from native species found in the forest of Santiago del Estero: jume (*Allenrolfeavaginata*), red quebracho (*Schinopsislorentzii*), and white quebracho (*Aspidospermaquebracho-blanco*), which were used in different stages of the dyeing process. Alum was used as a reference mordant for comparison. The analysis consisted of dyeing sheep wool, preparing color swatches, and determining the percentages of dye absorption by UV-Vis spectrophotometry, pH of the medium, and Na and K content by flame photometry. The results showed that the best ash was that of jume, which is consistent with traditional knowledge.

Palabras claves: *tintes naturales, biomordientes, cenizas*

Keywords: *natural dyes, biomordants, ash*

1. INTRODUCCION

Las especies vegetales del monteofrecen a sus pobladores numerosos beneficios que les han permitido la subsistencia a lo largo del tiempo. Además, también representan sus valores culturalesdado que forman parte de las expresiones artísticas de una región y, marcan la identidad de un pueblo. En la provincia de Santiago del Estero, la elaboración de textiles artesanales con tintes naturales es una de las expresiones más antiguas que perdura en la actualidad.

Dentro del proceso del teñido artesanal, el grado de fijación del color a la fibra es una etapa fundamental.Existen trabajos científicos que permiten comprender el mecanismo de tinción en

diversos sustratos textiles, incluida la lana(Khan et al., 2015).Para la fijación se emplean sales metálicas llamadas *mordientes* que interactúan con la fibra y modifican las características del color y las propiedades de solidez de los materiales teñidos. En la Fig. 1 se muestra la manera en que el mordiente sirve como *puente* entre el tintey la lana.

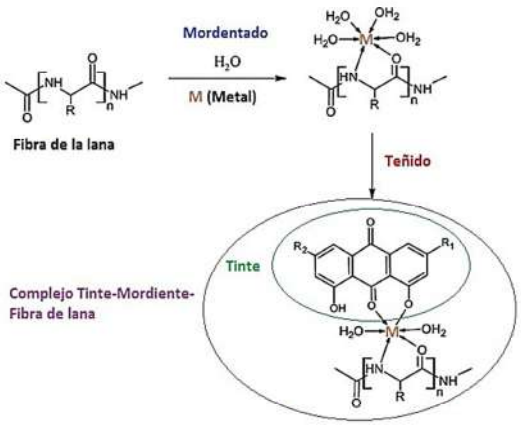


Figura 1: Interacción lana-mordiente-tinte. Modificado deKhan et al., 2015.

2.1.1.

El proceso de mordentado, además, puede efectuarse en distintas etapas del teñido, esto es: previo al teñido o *premordentado*; durante el teñido o *mordentado* y luego del teñido o *postmordentado*. Esto implica una variante adicional en lo que respecta a los colores obtenidos con el mismo tinte, es decir, una mayor variabilidad para la misma fuente tintórea (Barraza et al., 2014).

2.1.2.

El mordentado, por lo tanto, es una parte fundamental del teñido y en muchos casos no puede evitarse.Habitualmente se emplean sales metálicas queacarrean grandes inconvenientes al ambiente dado que generan aguas residuales conteniendo iones metálicos tóxicos que provocan un impacto negativo a la salud y al ambiente. Un avance importante al proceso implica encontrar fuentes naturales seguras, no tóxicas y ecológicas que contengan iones metálicos, taninos, etc., que puedan actuar como *biomordientes.*

Las *teleras* santiagueñas conocen sobre el uso de ciertasespecies vegetalesy suscenizas para mordentar las fibras a teñir(Palacio, 2007; Stramigioli, 2007).Sin embargo, a pesar de este conocimiento tradicional no existen estudios que sistematicen los resultados obtenidos ypor ello es importante llevar a cabo investigaciones para caracterizar a las especies conocidas y buscar nuevas que puedan también servir para reemplazar a los mordientes sintéticos.

Sobre estos hechos, en este trabajo se evaluó el uso de cenizas de especies nativas del monte santiagueño: jume (*Allenrolfeavaginata),* quebracho colorado (*Schinopsislorentzii*) y quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco)* como mordientes de teñido artesanal de lana de oveja empleándosecomo fuente tintórea extractos obtenidos de *Tessariadodoneifolia*(Hook. &Arn.) Cabrera ssp. dodoneifolia (Asteraceae) conocida comúnmente con el nombre de “chilca” o “suncho dulce”.Se evaluó el uso de las cenizas en diferentes etapas del proceso, esto es antes, durante y después del proceso de teñido. Además, se analizó la absorción del tinte, los valores de pH de cada solución de biomordiente y los contenidos de sodio y potasio de las cenizas.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1 Material tintóreo

La fuente vegetal empleada para teñir las fibras fue*Tessariadodoneifolia*(Hook. &Arn.) Cabrera ssp. dodoneifolia (Asteraceae) conocida comúnmente con el nombre de “chilca” o “suncho dulce”, Imagen 1.

Imagen 1: Tessariadodoneifolia (Hook. & Arn.) Cabrera ssp dodoneifolia

*T. dodoneifolia*es un arbusto ramoso de 2-3 m de altura. Tallos glabros, viscosos, estriados. Hojas sésiles, lanceoladas, agudas, atenuadas en un pseudopecíolo, dentado-aserradas en el margen,

de color verde oscuro, reluciente, con pelos glandulares hundidos en la epidermis. Flores con involucro acampanado, receptáculo glabro, de color rosado-lilacinas. Flores del disco 3-5, corola de ca. 4 mm, con lóbulos de 0,5 mm, estilo apenas dividido en el ápice. Esta especie, es oriunda de Bolivia, Paraguay, Uruguay y Argentina, es muy frecuente en el centro-norte del país (Flora Argentina, 2023).
Las plantas empleadas fueron recolectadas en los alrededores del Complejo Edilicio Jardín Botánico de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Santiago del Estero durante el mes de marzo de 2023.Para el teñido se utilizaron ramas y hojas. Una vez recolectadas se llevaronal laboratorio, se lavaron, pesarony secaron en estufa a 40 °C hasta peso constante, guardándose en un desecador hasta su utilización.

2.2Biomordientes

Los biomordientes utilizados fueron cenizasobtenidas de troncos de las especies: "quebracho colorado" (*Schinopsislorentzii*), "quebracho blanco" (*Aspidosperma quebracho-blanco*) y "jume negro" (*Allenrolfeavaginata*). Las especies se recolectaron en el mes de marzo del 2023en la localidad de La Lagunilla, Departamento Juan Felipe Ibarra, Santiago del Estero. Una vez recogidas, se procedió a limpiarlas, calcinarlas hasta cenizas y almacenarlas en recipientes herméticos hasta su utilización. Para la preparación de los extractos de biomordientes se colocaron 30 g de cenizas de cada especie y se adicionaron 600 ml de agua potable. A continuación, se calentaron a ebullición durante una hora y se dejaron reposar por 24 horas. Transcurrido el tiempo, se filtraron. Cada solución fue separada en dos alícuotas las cuales contendrán dos madejas de 2 g cada una. Una de estas se utilizó para el premordentado (PM) y postmordentado (DM); y la segunda destinada para el mordentado (M).A fin de comparar los resultados, se empleó como mordiente sintético de referencia al alumbre ($KAl(SO_4)_2$).

2.3Tinte

Para la preparación del tinte se evaluó previamente larelacióncantidad de planta/cantidad de lana a teñir/ volumen de agua. Al tratarse de un teñido artesanal, no existe una relación establecida(Stramigioli, 2007; Marrone, 2015).Sin embargo,experiencias previas surgidas durante la interacción con artesanas, indicaron como optima una relaciónde 250 g de material tintóreo secopor cada 100 g de lana. El volumen de líquido debe cubrir completamente la lana. En este trabajo se emplearon 5 l de agua. Se prepararon dos soluciones mezclando el material con agua y una tercera solución mezclando el material con solución del mordiente previamente preparado.Una vez preparadas las mezclas se llevaron a ebullición durante una hora, y se dejaron reposar durante 24 horas. Transcurrido el tiempo, se filtraron.

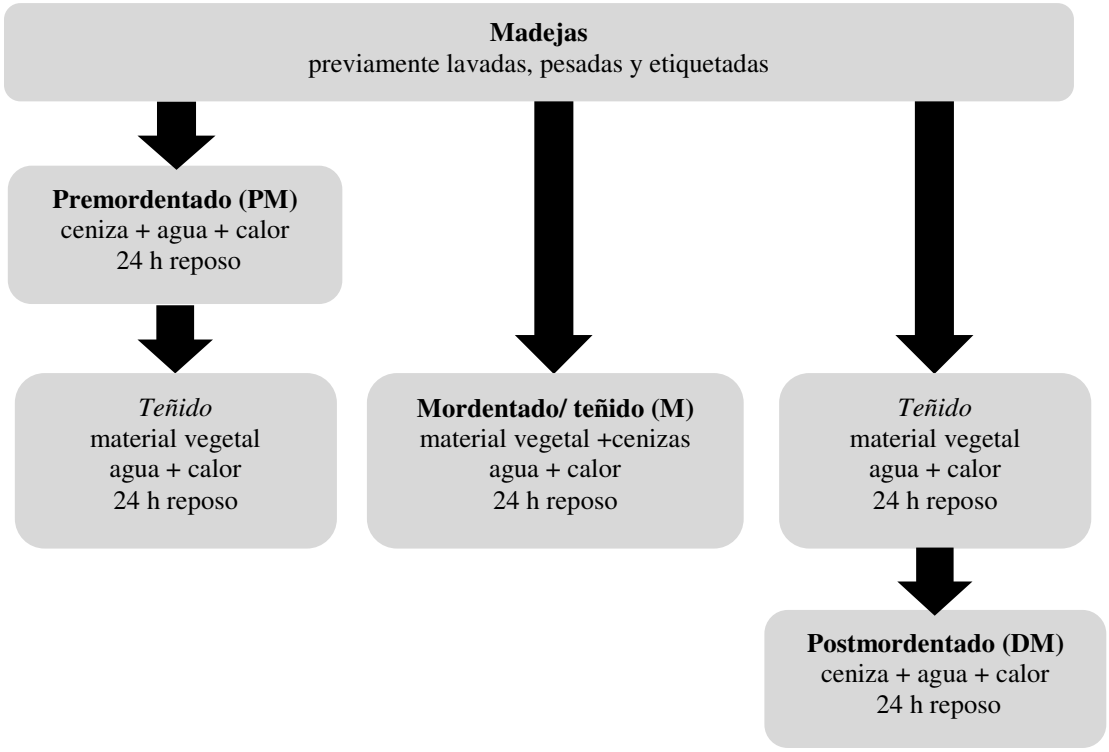
2.4Preparación de las Fibras por teñir

Las fibras empleadas corresponden a lana de oveja hilada artesanalmente y fueron adquiridas a teleras del Departamento San Martin, Santiago del Estero. Las fibras se lavaron con solución jabonosa y se prepararon madejas de aproximadamente 2 g cada una. Cada madeja se etiquetó a fin de poder identificarse al final del procedimiento. En cada procedimiento realizado se emplearon madejas previamente humedecidas. Los análisis se realizaron por triplicado.

2.5Teñido

El Esquema 1 muestra el procedimiento para el teñido empleando los biomordientes en las distintas etapas. El proceso completo se lleva a cabo en aproximadamente 72 h. Tanto durante las etapas de mordentado como las de teñido, las madejas se colocan en los recipientes y se calientan durante una hora, cuidando de no superar los 40°C a fin de no afectar a la lana. Una vez finalizados los teñidos se procedió a lavar las madejas hasta que el agua del enjuague no muestre restos del tinte, luego se secaron al aire sin exposición al sol. Una vez secas las madejas se elaboraron muestrarios y registros de las diferentes condiciones. Los experimentos se realizaron por triplicado.

2.6Evaluacion del porcentaje de absorción del tinte por espectrofotometría UV-Vis



Esquema 1: Diseño experimental para el teñido de lana de oveja empleando biomordientes en diferentes etapas del proceso.

La determinación de la absorción del tinte en la fibra se realizó por espectrofotometría UV-Vis empleándose un espectrofotómetro Spectrum SP 2100 UV. La técnica consistió en medir las absorbancias de los tintes antes (λ_{maxT}^{0}) y después (λ_{maxT})de teñir. Para el cálculodel porcentaje de absorción del tinte se emplea la ecuación 1 (Geelani, et al., 2016):

$$\%\ Absorcion = \frac{\lambda_{maxT}^{0} - \lambda_{maxT}}{\lambda_{maxT}^{0}}\ x\ 100 \quad (1)$$

Siendo:
λ_{maxT}^{0} = absorción al máximo de absorción del tinte antes de teñir.
λ_{maxT} = absorción al máximo absorciónde tinte después de teñir.

Finalmente, a fin de evaluar la influencia del grado de acidez sobre el teñido, se determinaron los valores pH de los mordientes puros, del tinte en el mordiente y el del tinte puro, con los diferentes tratamientos.

2.7Determinación de K y Na por fotometría de llama.

La fijación de los tintes a las fibras es un proceso mediado por cationes metálicos. Estos metales pueden encontrarse en pequeñas cantidades en las plantas, actuando como minerales/nutrientes. Las cenizas de madera presentan contenidos importantes de K y Na entre otros metales, los cuales se encuentran en formas relativamente solubles (Someshwar, 1996; Vance, 1996). A fin de evaluar los contenidos, en este trabajo se determinaron las concentraciones de Nay K por fotometría de llama. Para ello se empleó un fotómetro de llama Crudo Caamaño - Modelo Ionometer con lectura simultánea para Na y K.

3. RESULTADOSY DISCUSION

A fin de comparar los resultados obtenidos después del teñido de las muestras de fibra, se procedió a elaborar un muestrario, Imagen 2, donde se puede apreciar la gama de tonalidades

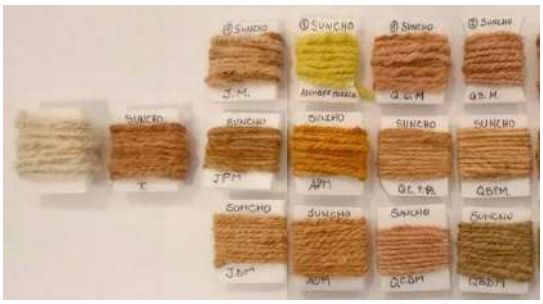


Imagen 2: Muestrario de colores obtenidos con extracto de T. dodoneifolia, mordentado con cenizas de nativas.
Referencias:
J: cenizas de jume. A: alumbre. QC y QB: quebracho colorado y blanco. PM: premordentado. M. Mordentado. DM: postmordentado

obtenidas después de teñir las muestras de lana de oveja con el tinte de *T. dodoneifolia*.
Los extractos de *T. dodoneifolia*tiñen a la lana dentro de tonalidades amarronadas-amarillentas, tal como puede observarse si se compara la lana natural con la testigo (T). El tono, en algunos casos, es dependiente del tipo de mordiente empleado y la etapa en la que se efectúa el mordentado. Esto se ve claramente en el caso del alumbre (A) dado que el teñido con el mordiente *in situ*(AM) presenta un color amarillo intenso mientras que tiende a marrón claro si el mordiente se usa antes o después del teñido.
En lo que respecta a las cenizas de quebracho, en la del quebracho blanco se observan variaciones, siendo notoria la diferencia cuando se realiza el mordentado luego del teñido. Las cenizas de jume y las de quebracho colorado no parecieran mostrar gran variación en la tonalidad.Sin embargo, los mordientes no solo tienen efecto sobre la tonalidad del color, intensificándolosohaciéndolos más tenues, sino que, tal como se mencionó anteriormente, contribuyen a la fijación en la fibra, hecho que todas las especies hicieron.
Con el objetivo de analizar la absorción del tinte por parte de la fibra, se realizaron las mediciones de las absorbancias UV-Vis del tinte puro ydel tinte preparado con soluciones de los mordientes puros. La Fig. 2 muestra el espectro UV-Vis de absorción del tinte puro de *T. dodoneifolia* (antes y después de teñir).

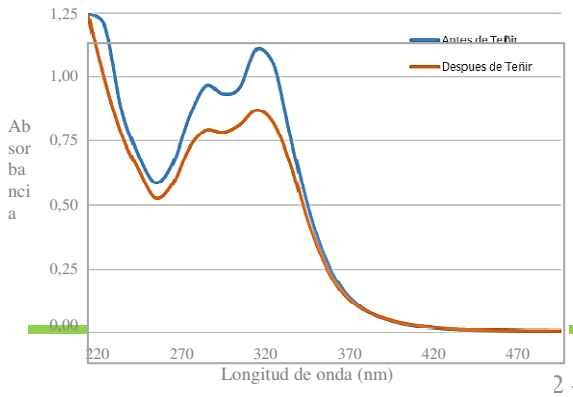


Figura 2: Espectro UV-Vis del extracto de T. dodoneifolia antes y después de teñir lana de oveja.

En todos los casos se observa, luego del teñido, un decaimiento de la absorbancia lo cual demuestra que efectivamente las fibras absorben una cantidad del tinte.Los espectros del tinte puro comparados con los tintes preparados con soluciones de biomordientes sufren un cambio considerable en su forma, probablemente debido a un cambio en el pH que se observa en las soluciones de las cenizas las cuales son ricas en sales que originan soluciones de pH alcalinos. Con respecto a esto, efectivamente los valores de pH indican que el tinte preparado en agua se encuentra a pH = 6, mientras que las soluciones de las cenizas siempre fueron alcalinas con valores que oscilaron entre pH de 8 a 10. Una excepción a este valor lo constituyó el alumbre, cuyo pH fue de 3. Esto pareciera tener efecto sobre el teñido dado que el alumbre es el único mordiente con un pH ácido y precisamente es el único con el que se obtuvo un color completamente diferente. Lo observado puede atribuirse a una modificación estructural en la molécula responsable del color proveniente del tinte, esto es, alguna especie que, dependiendo del valor de pH del medio, presente diferentes estados de ionización y por ende diferentes tonalidades, hecho muy común en la naturaleza (Barraza, 2023).Esto está de acuerdo con Marrone (2015)quiendefine que uno de los factores que influyen en el teñido es el pH
En la Fig 3 se observa que el premordentado con alumbre presentó mayor fijación de color, seguido por las cenizas de jume, mientras que quebracho blanco mostro casi la mitad de la

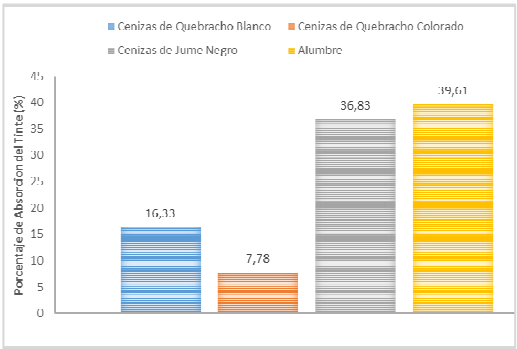


Figura 3: porcentajes de absorción del tinte, tratados con los diferentes mordientes (premordentado).

absorción que los anteriores siendo el que menor absorción mostro el que corresponde a quebracho colorado. 4,5 6,78
La Tabla 1 muestra el contenido de sodio y potasio, determinados por fotometría de llama, para las cenizas utilizadas.

Tabla 1: Contenidos de Na y K, expresados como g/100 g de cenizas, para las especies empleadas como biomordientes. Referencias: *J:* cenizas de jume. *QC* y *QB:* quebracho colorado y blanco.

Cenizas	Na	K
QC	1,19 ± 0,24	2,87 ± 0,22
QB	0,84 ± 0,22	5,73 ± 0,19
J	7,86 ± 0,12	8,34 ± 0,45

Todos los resultados se expresan como la media de tres determinaciones con su correspondiente desviación estándar. Se aplicó ANOVA utilizando el programa IBM SPSS Versión 27.0.1.0 para Windows.
Los valores obtenidos para el contenido de Na, muestran diferencias significativas,$p < 0,05$, entre lastres especies [F(2,6), $p< 0,001$] siendo mayor el contenido en jume. De la misma manera, en lo que respecta al contenido de K, se observa también diferencias significativas para $p < 0,05$, entre las tres especies [F (2,6), $p = 0,002$].
La composición mineral de las cenizases similar a las de sus materiales originales.Cada especie vegetal tiene su propio patrón de nutrición y una específica variedad de mineralesEl tipo de planta que se quema determina las clases de sales minerales liberadas (Sharland, 1997). Esto sería concordante con los resultados obtenidos dado que la concentración de metales en cada ceniza influye en el porcentaje de absorción de los tintes.La evaluación de los porcentajes de absorción del tinte indica que las cenizas de jume son las que mejor resultado ofrecen, siendo similares al del alumbre pero sin el perjuicio ambiental. Esto se condice con los relatos de las teleras, quienes recomiendan las cenizas de jume negro para el teñido según el libro (Stramigioli, 2007).
El jume es una especie endémica, particularmente abundante en Santiago del Estero y propia de sitios salitrosos (Roic, Villaverde, 2007). Esta halófila, ha desarrollado mecanismos de adaptación que le permiten soportar la elevada concentración de sales (Giménez et al., 2008). Estas características explican los numerosos usos que los pobladores le dan a esta especie entre los que se destacan para la fabricación de jabón casero, como mordiente, como jabón medicinal, entre otros (Sánchez et al., 2001)

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha demostrado la eficiencia en el uso de cenizas como fijadores del color de teñido de fibras artesanales con tintes naturales, en un procedimiento totalmente amigable con el ambiente. Del análisis de los resultados, y teniendo en cuenta el porcentaje de absorción del tinte, las cenizas de jume, empleadas para premordentar lana, mostraron una mayor eficacia incluso similar al alumbre. Además, se observa que modificando los factores etapa de mordentado y pH de los baños tintóreos se puede modificar las tonalidades. Finalmente, resulta importante recalcar quefomentar estas prácticas de manera sostenible no solo es una forma de preservar las identidades culturales sino también representa un potencial para el futuro desarrollo de las economías locales y regionales.No cabe dudas que existe una estrecha relación entre el hombre y los recursos que el ambiente brinda por lo que resulta clave comenzar a relacionar el conocimiento ancestral o popular con el científico. Esto permitirá la revalorización de conocimientos y prácticas que son amigables con el ambiente y contribuirá a generar políticas públicas orientadas a la preservación de los recursos naturales de nuestros ecosistemas.

5. AGRADECIMIENTOS

Al CICyT-UNSE por susaportes el financiamiento.

6. REFERENCIAS

AbtGiubergia, M. M. (2015). El bosque como espacio multifuncional para las familias campesinas de Santiago del Estero, Argentina. Quebracho Vol. 23, 117.

Barraza, J. (2023). *Análisis químico de extractos de Tessaria dodoneifolia de la provincia de Santiago del Estero, Argentina*. Trabajo final para acceder al título de Licenciado en Ecología y Conservación del ambiente. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero.

Barraza, J., Brandan, C. Cavilla, C. Corvalán, A. Hurtado Ferrate, S. Vasquez, A. Tevez, H. y González, E. (2014). Descubriendo los colores del monte: la alquimia de la naturaleza. Revista CET, (37), 30-37. https://www.facet.unt.edu.ar/revistacet/wp-content/uploads/sites/28/2023/03/37ext-03.pdf.

Flora Argentina (2023). *Tessaria dodoneifolia*. Flora Argentina y del Cono Sur. Recuperado el 17 de abril de 2023 de http://buscador.floraargentina.edu.ar/species/details/17829.

Geelani, S. M., Ara, S., Mir, N. A., Bhat, S. J. y Mishra, P. K. (2016). Dyeing and fastness properties of Quercusrobur with natural mordants on natural. Textiles and Clothing, 2 (8), 10.

Giménez, A. M., Figueroa, M. E., Hernández, P. y Cejas, M. (2008). Jume negro (AllenrolfeavaginataKuntze, Chenopodiaceae): potencialidades de usos en la rigurosidad del ambiente salino. *Quebracho*, (15), 32-36. https://fcf.unse.edu.ar/archivos/quebracho/nea06.pdf.

Khan, S. A., S. U. Islam, M. Shahid, M. I. Khan, M. Yusuf, L. J. Rather, M. A. Khan, and F. Mohammad. (2015). Mixed metal mordant dyeing of wool using root extract of rheum emodi (indian rhubarb/dolu). *Journal of Natural Fibers* 12 (3):243–55. doi:10.1080/15440478.2014.919893

Marrone, L. (2015). *Tintes Naturales: Tecnicas ancestrales en un mundo moderno*. Buenos Aires: Editorial Dunken.McRae, B. (1993). Colors from Nature: Growing, Collecting & Using Natural Dyes. Storey Publishing. United States.

Palacio, M. O. (2007). El uso de los recursos vegetales con propiedades tintóreas en la industria artesanal familiar en dos departamentos de la provincia de Santiago del Estero, República Argentina. Tesis de Maestría en Desarrollo de Zonas Áridas y Semiáridas. Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Santiago del Estero, Argentina.

Roic, L. D. y Villaverde, A. (2007). Flora Popular Santiagueña. FCF-UNSE. Santiago del Estero.

Sánchez, C., Montivero, M. y Caracho, A. (2001). El Jume: Una alternativa para la elaboración de Jabones. XXV Feria Nacional de Ciencia y Tecnología, Paraná, Entre Ríos.

Sharland, R. (1997). Reconstruyendo la perdida fertilidad del suelo. LEISA: Revista de agroecología, 13 (3).

Someshwar, A. V. (1996). Wood and combination Wood-fired boiler ashcharacterisation. *J. EnvironQual*. 25, 962-972.

Stramigioli, C. (2007). *Tintes Naturales: Las Teleras Santiagueñas.*Buenos Aires: CelestinaStramigioli.

Vance, E. D. (1996). Land application of wood-fired and combination boilerashes: anoverview. *J. EnvironQual.* 35, 937-944.

Mercados frutihortícolas en San Salvador de Jujuy, importancia en la cadena de valor. Menos desperdicios menos hambre

Bernal, Roberto A.C.[1]; Sosa, Sebastián Gustavo1; Maldonado, Silvina [1]

(1) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.
bernalrac@gmail.com; aperezreverte@yahoo.com.es

RESUMEN

Las cadenas de valor de alimentos implican pérdidas y desperdicios desde la producción inicial hasta el consumo final. Dichas pérdidas se dan en la recolección, almacenamiento, embalaje, transporte, problemas logísticos y de infraestructura, malas prácticas de almacenamiento, compra y cocción inadecuada. Lograr mejoras sistémicas implica nuevas estrategias para reducir o evitar la generación de residuos en su origen y recuperar los alimentos sobrantes para destinarse a consumo humano, animal o para reutilizarse en procesos industriales. Se estudiaron dos mercados mayoristas de frutas y verduras de San Salvador de Jujuy, los mismos generan grandes volúmenes de residuos que pueden ser reutilizados por constituir un eslabón importante en la cadena. En Argentina las pérdidas constituyen un 45% de la producción. En los mercados principales de San Salvador la generación de desperdicios oscila entre 25 a 70 toneladas semanales. Una alternativa de recuperación es el banco de alimentos y la otra como alimentos para animales. Las pérdidas y desperdicios son responsabilidad de productores y consumidores, la solución al problema debe ser abordada de manera interdisciplinaria e intersectorial con educación y trabajo.

Palabras clave: reutilización, productores, consumidores, educación.

ABSTRAC

Food value chains involve losses and waste from initial production to final consumption. Losses occur in collection, storage, packaging, transportation, logistical and infrastructure problems, poor storage practices, purchasing and inadequate cooking. Achieving systemic improvements implies new strategies to reduce or avoid the generation of waste at its source and to recover surplus food for human or animal consumption or for reuse in industrial processes. Two wholesale fruit and vegetable markets of San Salvador de Jujuy were studied, they generate large volumes of waste that can be reused because they constitute an important link in the chain. In Argentina, losses constitute 45% of production. In the main markets of San Salvador, the generation of waste range from 25 to 70 tons per week. One recovery alternative is the food bank and the other as animal feed. Losses and waste are the responsability of producers and consumers, the solution to the problem must be adressed in an interdisciplinary and intersectorial manner with education and work.

Keywords: reuse, producers, consumers, education

1. DESPERDICIOS EN LAS CADENAS DE VALOR DE ALIMENTOS-REACCIONES

Si bien la producción de alimentos del mundo es más que suficiente para alimentar a todos, el hambre demanda soluciones, esta ineficiencia compromete a reunir y poder vincular a las partes implicadas para su mejora en la pérdida y el desperdicio de alimentos para el consumo humano, a esto se suma la pérdida de mano de obra y se vulneran los recursos naturales como el agua, energía, tierra y otros insumos utilizados en la producción de esos alimentos.

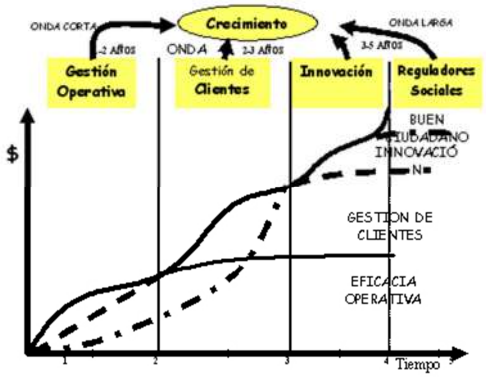
Las cadenas de valor de los alimentos se han convertido en un tema de interés para diferentes países e instituciones del mundo por los diversos

problemas planteados ya que integran desde la producción al consumo. A partir de estos problemas de las cadenas se fueron generando diferentes reacciones para poder paliar o prevenir estas situaciones buscando reducir el hambre, evitar pérdidas y desperdicios. Un punto importante es poder identificar en qué momento, donde y como se generan los desperdicios para tratar de buscar una forma de evitarlos o reducirlos o la forma de aprovecharlos si no hay otra alternativa. Una vez identificados ver cómo proceder

1.1 *La identificación de los desperdicios*

Al producirse desperdicios en los diferentes eslabones esta situación generó la preocupaciónque instó a FAOa investigar y lo hizo en función de los niveles de ingresos de los diferentes países. En los países de bajos ingresos, estas pérdidas, suelen estar vinculadas con la etapa de producción, en algunos casos principalmente a la falta de acceso energético, especialmente en la fase pos cosecha. Con el fin de pasar a cadenas de suministro de alimentos sostenibles que reduzcan tanto las pérdidas de alimentos, es necesario también una reconversión y aumento del uso de las tecnologías que utilizan energías renovables. Las causas de desperdicio de alimentos en los países de ingresos medios y altos están principalmente originadas por el comportamiento del consumidor, quesuele planificar inadecuadamente las compras y no considerar la fecha de caducidad de los alimentos. Esta situación a nivel de los países muestra que se da un paralelismo con lo que sucede en el desarrollo o crecimiento de una empresa tal como lo puede visualizar el grafico gráfico de sostenibilidad de una empresa a largo plazode Kaplan y Norton(1996)Se producenlas mismas prioridades señaladas en los párrafos anteriores, primero interesa ajustar los procesos vinculados a la producción o gestión operativa coincidencia entre los países de bajos ingresos como en la empresa, y luego como sucede para los países de altos ingresos y la empresa el interés se vuelca a sus cuestiones relacionadascon los clientes o consumidores.

Analizando la siguiente figura No 1 vemos como un modelo estratégico que provee a la empresa de sostenibilidad a largo plazo haciendo énfasis en aspectos medulares como la operatividad o la producción, la gestión de clientes, la innovación y la responsabilidad social. Temas estratégicos que son la secuencia de las acciones que mantienen la organización con un futuro garantizado a largo plazo.



"Figura 1. Modelo estratégico de largo plazo".

Fuente: Norton y Kaplan, Mapas Estratégico

Como no es posible gestionar lo que no se mide Argentina plantea laEstrategia 2030 "Valoremos los alimentos" quebusca medir de manera sistemática los desperdicios, mejorar la calidad de la información que circula sobre la temática e implementar metodologías que sirvan para generar conciencia y lograr reducir los porcentajes de pérdidas a largo plazo.

1.2 *Cuálesson las respuestas factibles para reducir o aprovechar los desperdicios*

Las respuestasbrindadas al problema de los desperdicios se han encarado a partir de acciones concretas que van orientadas algunas a la producción y otras al consumidor. Diferentes tipos de acciones señaladas son: A-Producciónlimpia, B-Iniciativa SaveFood y C-Recomendaciones para el consumidor.Para lograr mejoras sistémicas en la eficiencia de las cadenas de suministro de alimentos se debe lograr estrategias que sean sostenibles desde el punto de vista medioambiental. Esto implicaría reducir o evitar la generación de residuos en su origen y poder recupera los alimentos sobrantes que puedan destinarse a consumo humano como así también reutilizar alimentos que puedan destinarse a alimentar animales o en procesos industriales como la propuesta siguiente.

A-Producción limpia

De acuerdo, con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, la producción más limpia es "la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integrada a procesos, productos y servicios para incrementar la eficiencia total y reducir los riesgos para el ser humano y el medio ambiente. Este concepto puede ser aplicado a diferentes procesos industriales, a productos en sí mismos y a varios servicios ofrecidos a la sociedad. En procesos productivos, la P+L involucra la conservación de materias primas, agua y energía con la disposición de materiales tóxicos y peligrosos y la reducción de la cantidad ytoxicidad de todas las emisiones y residuos en la fuente, el proceso. En productos, la producción más limpia ayuda a reducir el impacto ambiental, en la salud y en la seguridad de los productos durante todo su ciclo de vida"(PNUMA, 2022).

Las principales estrategias consisten en la aplicación de tecnologías más limpias en la industria alimentaria. Estas se vinculan con cambios en los insumos utilizados con sustitución o reemplazo parcial de compuestos químicos por ingredientes de origen natural, en los procesos tecnológicos que permitan la reducción del consumo de energía y agua, la disminución de residuos, efluentes y emisiones y reciclaje, recuperación y reutilización de residuos. El procesamiento de alimentos genera residuos intermedios que pueden tratarse o recuperarse con bajos niveles de inversión para luego reutilizarse.

B-SaveFood

La Iniciativa Mundial SaveFood sobre la reducción de la pérdida y el desperdicio de alimentos es una importante herramienta del nuevo marco estratégico de la FAO, prioriza las intervenciones preventivas. Evitar que se originen perdidas y desperdicios y para reducirlas, también apoya la reutilización y reciclado ecológicos y costo – efectivos de los alimentos que se pierden o desperdician.Gustavsson et al. (2018)

La Estrategia 2030 (2018)se propone en Argentina a mediano plazo "contribuir en la reducción de pérdidas en un 10 y un 30% dentro de las cadenas de producción y suministro incluidas las pérdidas posteriores a la cosecha; reducir los desperdicios de alimentos entre un 10 y un 30% per cápita en la venta al por menor.

C-Consumidores

Se debe favorecer la reducción entre un 5 y un 10% del desperdicio de alimentos a nivel de los consumidores."Cada uno de nosotros desperdicia una media de 74 kilogramos de alimentos al año, tanto en los países de renta media como en los de renta alta", afirmó la Sra. Inger Andersen, directora ejecutiva del PNUMA propone "Reducir a la mitad el desperdicio de alimentos y recortar la pérdida es una parte importante de los esfuerzos para hacer frente a las urgentes crisis climática y alimentaria".(PNUMA,2022)

2 ARGENTINA REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS Y DESPERDICIOS DE ALIMENTOS

2.1 Plan Nacional de Reducción de Perdidas y Desperdicios de Alimentos.

El 29 de octubre del 2018, se sancionala ley27454Michetti et (2018) en su artículo segundo establece que la ley tiene por objeto la reducción y eliminación de Pérdidas y Desperdicio de Alimentos (PDA), a través del empoderamiento y movilización de los productores, procesadores, distribuidores, consumidores y asociaciones; otorgando especial relevancia a la atención de las necesidades básicas alimentarias de la población en condiciones de vulnerabilidad y con riesgo de subsistencia.Se suma el efecto de los desechos genera emisiones de gases de efecto invernadero, calculados en un 8% y el 10% del total de emisiones lo que contribuye al cambio climático con fenómenos extremos como sequias e inundaciones que repercuten en el rendimiento de las cosechas y la calidad de los cultivos.

2.2 Reducción desde los Consumidores.

Los consumidores son uno de los pilares más importantes para acabar con el desperdicio de alimentos. "Invertir en medidas para prevenir la pérdida y el desperdicio de alimentos significa también invertir en políticas favorables a los pobres, ya que promueve sistemas alimentarios sostenibles para un mundo sin hambre".(Graziano da Silva, 2017).Una de las recomendaciones más importantes para el consumidor es adquirir solo los alimentos necesarios y no excederse en las compras tentados por las ofertas, evitaríamos así que sobren alimentos y no terminen en la basura, otra medida que se puede implementar es comprar alimentos a los productores locales, se

sugiere además darle una segunda oportunidad a los alimentos antes de desperdiciarlos, entregándolos a instituciones o asociaciones que recolecten alimentos que ya no van a ser usados, la consigna es no desperdiciar comida en un mundo donde existe el hambre.

"La tolerancia cero con la pérdida y el desperdicio de alimentos es rentable a nivel económico. Según un informe, cada dólar invertido en las políticas para frenar las pérdidas y el desperdicio alimentarios redunda en un beneficio de 14 dólares"(Graziano da Silva, 2017).

Al reducir las pérdidas y el desperdicio a lo largo de la cadena de valor de los alimentos, unos sistemas alimentarios robustos pueden contribuir a promover la adaptación y mitigación del cambio climático, preservar los recursos naturales y reforzar los medios de subsistencia rurales.

Los consumidores deben mejorar la planificación de los menús. Consumir antes de volver a comprar. Para evitar pérdidas comprar únicamente lo que se vaya a consumir siguiendo buenas prácticas de almacenamiento.

En generación de desperdicios también aportan los mercados concentradores de fruta y verduras.

2.3 *Rol de los mercados frutihortícolas y cómo actúan con los desperdicios*

Debido a que la comercialización en los mercados se realiza con un producto altamente perecedero y con nula posibilidad de acopio, los excesos en la oferta se traducen en residuos y pérdidas de alimentos. Las estrategias de comercialización están orientadas a los lazos con actores dentro de la cadena, a la logística y la comercialización, así como a las tecnologías e infraestructura con la que cuentan (Bruno et al., 2020).

Los principales clientes de los mercados mayoristas son las verdulerías y fruterías y los mismos repartidores, quienes cumplen la función de acercar la oferta a los comercios minoristas. Estos actores en el sistema tradicional juegan el rol de intermediarios. Reciben el pedido de los negocios ubicados a grandes distancias de los mercados y actúan como verdaderas plataformas logísticas que abaratan costos de transacción para la producción y el comercio minorista de pequeña y mediana escala.

Los mercados concentradores generan grandes cantidades de desperdicios es así que en Argentina se desperdicia casi el 45% de la producción de Frutas y verduras. Los 25 Bancos de alimentos trabajan como una primera alternativa para recuperar este tipo de alimentos en mercados concentradores y una segunda utilizarlos como alimentos para animales.Trabajamos para mejorar la alimentación de 7.700 personas que asisten a comedores, merenderos y escuelas de Jujuy, Argentina. También queremos evitar que se tire la comida por eso rescatamos alimentos no aptos para la venta, pero aptos para el consumo de ferias, mercados, productores y empresas alimenticias.

Los mercados de San Salvador de Jujuy desde su fundación hasta la actualidad fueron creciendo modificando su situación inicial por ser únicos hasta que se produjo un decrecimiento enlos ingresos como consecuencia de la disminución en la demanda, producto de la competitividad ocasionada por el surgimiento de diferentes negocios alternativos de compra de frutas y verduras para el cliente como las verdulerías barriales y grandes ferias de frutas y ropa americana.

En Jujuy la producción de frutas y verduras es estacional, quedando sin producción en la época invernal, tampoco se producen todas las frutas y verduras que se necesitan para el consumo. En este tiempo de faltantes se recurre a la compra de producción de otras provincias o de países limítrofes. La ausencia de verduras que se presenta en algunos meses del año, especialmente en invierno: junio, julio y agosto que por estacionalidad no hay oferta de productos sobre todo verduras, no alcanzando a cubrir el requerimiento de la porción diaria ideal de consumo. Esto se resuelve o compensa en la adquisición de productos que ingresan de otras provincias más lejanas y aledañas como por ejemplo de Salta: de Orán y Tartagal ingresa zapallito, de Tucumán: naranja, mandarina; de Mendoza y San Juan: uva, manzana, también de Mendoza y Rio Negro: manzana de países limítrofes como Chile: cereza, kiwi, ananá. Bernal et all(2020)

El ingreso de estas frutas o verduras de otras provincias genera residuos por: el embalaje, transporte y por problemas logísticos perdidasen los mercados.

3 MERCADOS IMPORTANTES DE SAN SALVADOR DE JUJUY

Se describen las características de dos mercados importantes: Mercado Hipólito Irigoyen y Mercado de Concentración y Abasto.

Mercado Hipólito Irigoyen

Elmercado Hipólito Irigoyenubicado en las calles José de la Iglesia y Zegada son que está compuesto por una cantidad de locales de 15 a 20 ubicados en una zona comercial de la ciudad con mucho movimiento comercial. De estos puestos, al momento de la visita 14 corresponden a la venta de productos frutihortícolas. Los puestos tienen una característica muy homogénea puesto que los que atienden son pequeños comerciantes integrado por una o dos personas dedicadas a la atención del local, y ofrecen a la venta productos por menor de frutas y verduras de estación que presentan gran diferencia ni en calidad ni en precio.

La mayor proporción de vendedores corresponden a cuentapropistas que consigue el producto para vender en las ferias mayoristas de la zona, especialmente la Feria Mayorista de Perico o Monterrico, generalmente productos que provienen de afuera de la provincia, esto tal vez por la variación estacional. En menor porcentaje corresponde a productores locales que ocasionalmente venden sus productos a estos vendedores minoristas o los mismos minoristas van en busca del productor, intentando reducir el margen de los costos de las mercaderías.

Con respecto al destino del tratamiento de los residuos, los locatarios indican que se retira el desperdicio dos veces al día cuando pasa el recolector destinado a ese efecto. Cada local desecha en promedio “de 4 a 6 tachos de veinte litros por turno” entre frutas y verduras en mal estado que no se puede vender. Esto representa haciendo la conversión a kilos aproximadamente, entre 8400 y 25200 kg por semana.

Realizando una estimación estaríamos en promedio el mercado produce15tn de residuos por semana.

Estos residuos no reciben ningún procesamiento, estando compuesto en su mayoría por frutas y verduras, aunque también corresponde en un 20% a cartones y plásticos o cartones provenientes de los envoltorios o embalaje con los que llegan los productos para su preservación y posterior venta. Hablando estrictamente de frutas y verduras se estima, según los propios vendedores, que se desecha entre un 10 al 20% del total disponible para la venta.Es muy pequeña la cantidad del desperdicio que retiran los recolectores que los reutilizan como alimento para animales (chanchos, caballos, conejos, etc.).

Mercado de Concentración y Abasto.

En el caso del mercado de Concentración y Abastoubicado en las calles Alte. Brown esq. Rivadavia presenta notables diferencias con respecto al mercado anterior, comenzando con la más visible que son las dimensiones del complejo. En este caso se trata de un espacio que cubre alrededor de 1ha demarcado en dos zonas claramente visibles: una minorista y otra mayorista en primera instancia.El sector minorista esta en una gran nave central que abarca entre 50 y 60 puestos de venta, con variedad de productos, pero en su mayoría frutas y verduras. Estos cuentapropistas en su mayoría consiguen sus productos de los productores del medio o bien traen su producción y lo dejan para la venta por menor. Los puesteros buscan en los alrededores proveedores productores que les vendan sus productos a un precio que les brinde un mejor margen de ganancia. En general los precios no ofrecen demasiadas diferencias, el comprador toma su decisión de compra basándose en la calidad del producto.

En relación a los desechos, la mayoría de los puestos indica que se desecha relativamente poco, ya que el producto que no se encuentra con la calidad suficiente para la venta, se aparta para suministrarlos a dos tipos de recolectores: los que llevan el descarte para los animales y otro para un posterior tratamiento y consumo humano para el banco de alimentos.

El otro sector de interés es el sector “mayorista”, en un ala lateral de la nave principal, cuenta con unos 50 locales del tamaño de una habitación con un pequeño deposito posterior los cuales 40 corresponden a frutas y verduras. Están ubicados uno al lado del otro con una galería frontal que permite el ascenso y descenso de la mercadería y circulación de los compradores. El resto de locales o están desocupados, o bien corresponden a mercaderías comestibles.

En este sector los locales están clasificados de acuerdo a una diferenciación por producto, y de esta manera existen locales destinados a la venta mayorista de papas, o cebollas, o tomates, o verdes (lechuga, acelga, apio, etc.), o alguna combinación de ellos. Estos productos normalmente se comercializan en cajones.

Los comerciantes de este sector indican que prácticamente una pequeña cantidad se desecha, y la mercadería que no se puede vender por la pérdida de calidad es recolectada por el Banco de Alimentos que funciona en el mismo predio del mercado. Este banco de alimentos es el mismo que se encarga, mediante la intervención de cierto personal destinado al efecto, de pasar por los puestos en busca de esta mercadería.En el año 2022 se distribuyeron 165958 kg

Los Bancos de Alimentos funcionan como una cadena de valor solidaria dado que distribuyen alimentos que no pueden ser comercializados por diversos motivos, pero sí son aptos para el consumo conforme a las normas sanitarias vigentes, devolviéndoles el valor a los alimentos que han perdido su valor comercial y que de otra forma serían desechados.

La Red es una Asociación Civil sin fines de lucro integrada por los 17 Bancos de Alimentos distribuidos por todo del país. Fue creada en junio de 2003 como una iniciativa de los mismo Bancos de Alimentos para potenciar el trabajo conjunto y fortalecer las herramientas que cada uno posee con el objetivo de reducir el hambre y mejorar la situación nutricional en Argentina.

Finalmente,los puesteros del mercado tienen un esquema de recolección de residuos que es resuelto por cada comerciante. En el caso de desechar definitivamente el producto lo deposita en un contenedor destinado al efecto, en las cercanías de ambas naves. Este contenedor, que se recoge una vez por día, tiene unas dimensiones de 7m de largo por 3m de ancho y 1m de alto, que se deja dispuesto para que allí se deposite el desperdicio. Esta basura en su mayoría está compuesta por frutas y verduras en mal estado, y coincidiendo con el anterior mercado, un 20% corresponden a cartones y plásticos residuos de embalaje. Se estima que aproximadamente se completa la mitad de este contenedor por día, durante la semana, y uno completo el sábado al aumentar la cantidad de gente que concurre para compra hogareña.De esta manera se estima por semana que se desecha 84m3 semanales lo que equivale a aproximadamente 20 toneladas.

"Tabla 1. Mercados de San S. de Jujuy"

Mercado	Locales	Clasificación	Destino Residuos	Proveedores
Hipólito Irigoyen Adminis. Munic.	20 Desp. 15ton	Minorista	Alimento animales y basura	Locales
Concentración y Abasto Adminis. Munic.	60Min. y 40 May. Desp. 20ton	Minorista y Mayorista	Banco alimentos, para animales basura	Locales y Nacionales

De este cuadro resumen se puede observar la cantidad de desperdicio que se genera es aproximadamente entre 45 a 50 ton por semana, en un mes 2000ton si le sumamos los desperdicios producidos por las verdulerías que existen la que se incrementaron como consecuencia del covid y le adicionamos además la cantidad de ferias el volumen generado se transforma en un número muy importante. Estoimplica la necesidad de diseñar nuevas estrategias para recuperarlos o trabajar en la prevención para evitarlos. Este análisis lleva a la reflexión y a la necesidad de actuar para lo cual se realizan las siguientes recomendaciones.

4 RECOMENDACIONES Y ACCIONES A DESARROLLAR

Muy importante es avanzar en la reducción de los desperdicios y la posibilidad de poder encontrar aquellos que lo aprovechen. Se proponen en esta oportunidad considerando el tema tratado acciones, que impactarían sobre algunos eslabones de la cadena, vinculadas a los mercados y anexos relacionados están son: A Nuevos Bancos de Alimentos, B Capacitación a Verduleros y C Capacitación a Consumidores de los Hogares.

A Nuevos Bancos de Alimentos

Haber iniciado en San Salvador de Jujuy con el banco de alimento para recuperar y aprovechar los desperdicios marcan los primeros pasos para eficientizar la cadena de frutas y verduras.Esta medida de podría replicar en las diferentes localidades del interior de la Provincia. Los pasos siguientes pueden ser para continuar con la reducción de desperdicios las fruterías y

verdulerías en San Salvador de Jujuy. Se puede imitar lo que se hizo Córdoba. Esta ciudad encontró la forma de poder mitigar y reducir su impacto capacitando a los verduleros.

B Capacitación a Verduleros

Los Verduleros que no poseen cámara frigoríficano tienen como regular temperatura y humedad siendo inevitable la maduración y en el caso detenerla, no conocen la forma de gestionar el almacenamiento delas frutas y verduras lo que implicatirar muchos desperdicios. La capacitacióndesarrollada por la ADEC (Agencia para el desarrollo económico de la Ciudad de Córdoba)alcanzó a 2300 verduleros.Tener el conocimiento de la maduración de frutas y hortalizas puede facilitar evitar el desperdicio. El objetivo que se planteóen esta capacitación fue incrementar las competencias para la venta y condiciones sanitarias que faciliten la comercialización y consumo de frutas y verduras con un impacto positivo en la salud. Incorporando valor y calidad a los productos y mayor profesionalización en las actividades, posibilitando así incrementar los volúmenes de venta y disminuir las pérdidas para ofrecer precios más competitivos.Tiene impacto el solo hecho del reconocimiento y clasificación de las frutas y verduras en climatéricas y no climatéricas evitando que el etileno que producen algunas frutas madure a otras o provoque daño a las otras frutas o verduras acopiadas muy cercanas. No siempre es adecuado colocar todas las frutas o verduras en un solo lugar por lo se debe saber cómo almacenarlas. Este conocimiento lo deben adquirir los verduleros y los consumidores de los hogares que también acopian frutas y verduras.

C Capacitación a Consumidores de los Hogares

Los consumidores también deben capacitarse puesto que es necesario cambiar el comportamiento que provocan los altos niveles actuales de desperdicio alimentos. Tomar precauciones a la hora de comprar puesto que el consumidor debe fijarse en las frutas y verduras en los golpes o magulladuras, así como las temperaturas extremas que hacen que las frutas se maduren más rápido. Si alguna tiene un golpe se debe retirar y consumirla lo más pronto posible.Al hacer la compra de frutas y verduras es preferible comprar en pequeñas cantidades para evitar desperdicios.

Las acciones no pueden orientarse únicamente hacia partes aisladas de la cadena, ya que al hacerlo tiene consecuencias en el resto. En concordanciacon los estudios que viene realizando FAO a modo de conclusión y coincidente en un todo de acuerdo respecto al origen de desperdicios, estos provocan la reflexión, y plantea como meta superadora la necesidad de educar a todos los diferentes actores de la cadena desde la producción hasta los consumidores. El camino es arduo considerando que es necesario tomar medidas en el proceso productivo como en los consumidores,como así también,mejorando la logística mal gestionada. Siendo conscientes que son las relaciones de las partes o eslabones los que determinan el funcionamiento aceitado de la cadena de valor de frutas y verduras.

5 BIBLIOGRAFÍA

Bernal R (comp.), Capra F., Garnica R. Tinte E. Gaspari, P., Sosa G.,Valdiviezo M. (2020) "*Productos agroalimentarios del Noroeste Argentino Eslabones para articular la Cadena de Valor. Disruptores y crecimiento"*Purmamarka Ediciones.

Bruno, M.; Grenoville, S. y Cittadini, E. (2020). "*Conceptos y estrategias de gestión de los residuos sólidos orgánicos en los mercados frutihortícolas. Evolución y estado actual en el mundo, en Argentina y en el Área Metropolitana de Buenos Aires"*. Horticultura Argentina 39 (99): 24 – 42.

Graziano da Silva, J.(22 de septiembre 2017) *"Tolerancia cero" en desperdicio de alimentos urge la FAO* Contexto ganadero una lectura de la realidad colombiana Recuperado el 22 de mayo del 2023 de https://www.contextoganadero.com/internacional/tolerancia-cero-en-desperdicio-de-alimentos-urge-la-fao.

Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., van Otterdijk, R., &Meybeck, A. (2011). FAO: *P é rdidasy desperdicio de alimentos en el mundo. Alcance, Causas y Prevención.* In "SAVE FOOD.

Kaplan, R, Norton, D (1996), Cuadro de Mando Integral, Gestión 2000, Recuperado de https://bancosdealimentos.donaronline.org/banco-de-alimentos-jujuy/en-este-momento-dificil-te-necesitamos

Michetti M. G. - Monzo E. - Eugenio Inchausti E. -Tunessi J. P.e. (29/10/2018 N° 81498/18 v. 29/10/2018 Recuperado dehttps://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-27454-315735/texto

Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca. Argentina.Estrategia Argentina 2030 (2018)*Valoremos Los Alimentos "Con menos pérdidas y desperdicio de alimentos, hacia un sistema agroalimentario sostenible"*

PNUMA (29 de septiembre 2022) "*Hacer frente a la pérdida y el desperdicio de alimentos: una oportunidad de ganar por partida triple"*ONU programa para el medio ambiente. Recuperado 10 de marzo 2023 de https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/hacer-frente-la-perdida-y-el-desperdicio-de-alimentos#:~:text=Inger%20Andersen%2C%20Directora%20Ejecutiva%20del,La%20comida%20nunca%20se%20desperdicia.

United Nations Environmental Program. Cleaner Production – Key Elements. United Nations Environmental Program (UNEP) [online: 20-Mar-06] URL Recuperado de: http://www.uneptie.org/pc/cp/understanding_cp/home.htm#denition

Secado por atomización de leche de cabra descremada: características del polvo.

Burgos Laura[1]; Gallardo, Marisa[1]; Cruz, Sergio[1]; Maldonado, Silvina[1]

(1) Laboratorio Ingeniería para el Desarrollo de la Agroindustria Regional (IDeAR), Centro de Investigación en Tecnología de los Alimentos (CITA) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.
smaldonado@unju.edu.ar

RESUMEN

Se estudió el proceso de obtención de leche de cabra descremada en polvo, bajo diferentes condiciones y a escala piloto, caracterizando los sólidos obtenidos con el fin de seleccionar aquel que presente las mejores características y mayor rendimiento. Se analizó la aptitud para proceso y la composición de la leche de cabra; se descremó, pasteurizó a 65ºC durante 30 minutos, se enfrió y se sometió a secado por atomización. Se estudió el efecto de la variación del flujo de alimentación en tres niveles: 0,63, 1 y 1,5 l/h, alcanzándose temperaturas a la salida (T_S) de la cámara de secado de 116, 112 y 100ºC, respectivamente. Se mantuvo constante el caudal de aire en 4,5 m/s, alcanzando una temperatura del aire a la entrada de 175ºC. Sobre las muestras secas se midieron: contenido de humedad, solubilidad, a_w, higroscopicidad, densidad aparente y color. Las condiciones del proceso de secado seleccionadas fueron: flujo de alimentación 1,5 l/h, y T_S 100ºC para temperatura de entrada del aire de 175ºC, yaque permitieron obtener mayor rendimiento (85,63%). La leche de cabra en polvo seleccionada presentó solubilidad 90,8±0,2, densidad aparente 0,215±0,004 y los parámetros de color fueron *L*: 97,5±0,1, *a*. -2,01±0,01 y *b*: 9,26±0,04.

ABSTRACT

The aim of the study was to obtain skim milk powder goat pilot scale, characterizing the milk obtained, selecting the one which has the best features. The processability and composition of goat's milk were analyzed. It was skimmed and pasteurized at 65°C for 30 minutes. It was cooled and spray dried. The effect of the variation of the feed flow in three levels was studied: 0.63, 1 and 1.5 l / h, producing the temperatures at the outlet (TS) of the drying chamber of 116, 112 and 100ºC, respectively. . The air flow was kept constant at 4.5 m / s, establishing an air temperature at the inlet of 175ºC. On the dry samples: moisture content, solubility, a_w, hygroscopicity, apparent density and color were measured. The drying process conditions that maximized the yield of the final product (85.63%) resulted in a feed flow 1.5 l / h, and outlet air temperature 100ºC when inlet air temperature was 175ºC. It showed solubility of 90.8 ± 0.2, apparent density 0.215 ± 0.004 and color parameters L: 97.5 ± 0.1, a. -2.01 ± 0.01 and b: 9, 26 ± 0.04.

Palabras claves: spray - temperatura – solubilidad - higroscopicidad

Keywords: atomization - temperature - powder - yield

1. INTRODUCCIÓN

La leche de cabra ha tenido un papel histórico en la producción de alimentos, especialmente en las regiones desfavorecidas del mundo como la Quebrada jujeña, donde sus productos constituyen una de las principales fuentes de proteína para la población.

La producción de leche de cabra en los pequeños establecimientos productivos de la Quebrada de Humahuaca es estacional y en algunos momentos se obtienen volúmenes diarios de leche que exceden la capacidad de procesamiento. Esto genera, a los pequeños productores, inconvenientes para conservar la leche hasta el momento de elaboración y muchas veces ocasiona pérdidas económicas tanto como desarrollo de productos de baja calidad bromatológica (Maldonado et al., 2012).

La leche de cabra en polvo puede significar una alternativa de solución a esta problemática, ya

que tiene un largo periodo de vida útil y permitiría la planificación de la producciónde quesos y otros productos lácteos en forma más distribuida en el año, evitando que la estacionalidad del ciclo de lactancia restrinja la actividad (Sharma et al., 2012; Hammad et al., 2017).

Una de las tecnologías para obtenerla es el secado spray (por atomización o aspersión). Este secado resulta un método de conservación atractivo para muchos alimentos, ya que es una tecnología que permite mantener, en gran parte, sus características nutricionales (Ogolla et al., 2019; Akbarbaglu et al., 2021). En el secado por aspersión las gotas atomizadas entran en contacto inmediato con el flujo de aire caliente, lo que previene los efectos térmicos que comprometen las características sensoriales y biológicas de los productos (Mezhericher et al., 2010). Aunque se emplean tiempos de secado cortos y exposición reducida a altas temperaturas, el proceso de secado por aspersión causa degradación térmica; por lo tanto, es fundamental comprender cómo influyen las condiciones de secado.Durante el secado por atomización de leche las temperaturas del aire,a la entrada de la cámara y a la salida, suelen estar en el rango: 160° a 180ºC y 75° a 85ºC, respectivamente (RodríguezOtálora, 2017; Bocci y Casas, 2013; Guardiola Rodríguez, 2015.).

Según Sert y Mercan (2021) la obtención de leche de cabra en polvo a nivel industrial es limitada, debido a los pequeños volúmenes asociados a las granjas lecheras caprinas.

Reddy et al. (2014) investigaron el efecto de diferentes temperaturas y concentraciones de sólidos en la producción de leche entera en polvo a partir de leche de cabra de Osmanabadi. Fonseca et al. (2011) estudiaron el efecto de la adición de lecitina de soja previoal secado por aspersión de la leche de cabra,sobre las características fisicoquímicas del polvo. Sert y Mercan (2021) investigaron las características fisicoquímicas y los valores de distribución del tamaño de partículas de muestras de leche en polvo entera de cabra.De Oliveira et al. (2020) estudiaron los efectos del secado por aspersión de leche de cabra en polvo, variando la temperatura de salida y el caudal de alimentación. Concluyeron que el caudal de alimentación es un parámetro crítico del proceso porque influye en el tamaño de las gotas y la humedad.

Por otro lado, en los últimos años el consumo de alimentos altos en grasa ha disminuido, debido a que la grasa en la dieta ha sido asociada con la incidencia de enfermedades coronarias, diabetes y otros problemas de salud (OMS, 2018). Esto ha originado que el consumo de productos lácteos bajos en grasa sea cada vez más popular (McGhee et al., 2015). El hecho de que algunos ácidos grasos presentes en la leche de cabra sean los responsables del aroma y en parte de su sabor atípico propio (Rojas Castro et al., 2007) ocasiona que no siempre sean sensorialmente aceptados, situación que justifica el descremado parcial o total de la leche de cabra, con el fin de aumentar la aceptabilidad del producto (Vásquez-Villalobos et al., 2015).

En este trabajo se propone 1) estudiar el efecto del caudal de alimentación/temperatura del aire de secado en la obtención de leche de cabra descremada en polvo a escala piloto, 2) caracterizar las leches en polvo obtenidas, seleccionando aquella que presente mejores propiedades fisicoquímicas, con el mayor rendimiento de proceso.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras de leche de cabra se obtuvieron directamente de los productores de la Quebrada de Humahuaca- Jujuy, a mitad del ciclo de lactancia. Se filtró, se refrigeró a 4°C y se transportó a la planta piloto en recipientes inertes, para su estudio y procesamiento inmediato.

Se descremó la leche hasta un 0,3% mediante una descremadora eléctrica marca COMEK y se pasteurizó a 65ºC durante 30 minutos. Se enfrió y se sometió a secado por atomización en un equipo marca Spray Process Modelo DR-0,3.

Parámetros de calidad y Composición química de la leche de cabra

Se determinaron los parámetros de calidad y la aptitud de la leche para proceso (Maldonado y Burgos, 2015): pH (pHmetro digital marca HANNA); acidez titulable (método AOAC 947.05); densidad (método AOAC 925.22); prueba de la reducción del azul metileno (Kirk et. al. 1999). Se determinaron además sólidos totales (método AOAC 925.23); cenizas (método AOAC 945.46), proteínas totales: por el método de Kjeldahl, factor de 6,38 (método A.O.A.C. 955.04c) y contenido graso total (método AOAC 922.06).

Proceso de secado por atomización de la leche de cabra

Para precisar el rango de variación de las variables de operación en el equipo de secado, se utilizó leche descremadabovina comercial. Esta muestra se usó además como control.

Se aplicaron al secado de la muestra control (C) 3 tratamientos, combinando las siguientes velocidades de ingreso del aire y niveles de caudal de alimentación: C_1 (3,5 m/s:0,63L/h), C_2 (4,5 m/s:0,63L/h) y C_3 (4,5m/s:1,5 L/h). Con estas condiciones las temperaturas que alcanzó el aire a la entrada y la salida variaron entre: 163° a 195ºC y 90° a 105ºC, respectivamente. Se seleccionó la velocidad de ingreso del aire que presentó mayor rendimiento y se utilizó para el secado de las muestras de leche de cabra.

Se analizaron las condiciones de operación para el secado de la leche de cabra, estudiando el efecto de la variación del flujo de alimentación, en tres niveles: 0,63, 1 y 1,5 l/h, manteniendo constante el caudal de aire previamente seleccionado. Con esto quedaron establecidas las siguientes temperaturas de salida del aire de la cámara de secado: 116°, 112° y 100ºC, respectivamente.

El equipo se alimentó con agua durante un mínimo de 20 minutos antes de las muestras, a fin de estabilizar las condiciones de operación y después de realizar cada corrida de secado para limpieza del circuito. Se trabajó con dos réplicas para cada tratamiento.

Los sólidos obtenidos se envasaron al vacío en bolsas de polietileno y poliamida de 70 µm de espesor y se almacenaron a temperatura ambiente.

Se calculó el rendimiento (y) de la operación de secado, mediante:

$$y = \frac{S_T}{S_{T0}} x\ 100 \qquad (1)$$

Donde:

$S_{T0:}$ contenido de sólidos en la solución de alimentación
$S_{T:}$ contenido de sólidos en el polvo final.

Análisis de propiedades fisicoquímicas delas leches en polvo

A fin de establecer las condiciones de proceso que permiten obtener polvos con mejores características, se analizaron:

Contenido de humedad (AOAC 984.25).

Actividad de agua (a_w) usando un equipoAquaLab Series 3 TE (AOAC 978.18).

Solubilidad en agua a 25ºC (Zhang et al., 2013).

Densidad aparente según el método descrito por Reddy et al. (2014).

Higroscopicidad (HG), expresada como el contenido de humedad final del sólido expuesto a un ambiente de HR constante de 79,5%, para lo cual se aplicó la metodología descrita por Jaya y Das (2004) y se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$HG\% = \frac{\frac{b}{a+W_i}}{1+\frac{b}{a}} x\ 100 \qquad (2)$$

Donde:
b (g) es el aumento de peso del sólido
a (g) es la cantidad inicial de sólido
Wi (%, b.h.) es la humedad inicial del sólido (en base húmeda).

*Color:*Se midieron los parámetros de color con un Colorímetro modelo Miniscan EZ 4500L, marca Hunter Lab. Se tomaron 5 medidas en cada una de las muestras.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos para cada análisis se examinaron utilizando la prueba de Rangos Múltiples de Tukey, con un nivel de confianza del 95%. Se realizó un análisis de varianza utilizando el software StatgraphicsCenturion XV.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al trabajar con leche bovina se obtuvieron los siguientes rendimientos: 74,6±0,02%, 67,0±0,1% y 82,64±0,01%, para C_1 (3,5 m/s:0,63 L/h), C_2 (4,5 m/s:0,63 L/h) y C_3 (4,5m/s:1,5 L/h), respectivamente. Esto comprueba que las condiciones con las que se trabajó permiten un proceso viable y eficiente para la obtención de leche en polvo en cuanto a rendimiento. Las pérdidas producidas durante el secado por atomización se debieron a que algunas partículas quedaron adheridas a las paredes dela cámara de secado y otras muy pequeñas no fueron retenidas por elel ciclón del equipo, cuanto más pequeñas son las partículas, más difícil resulta su recuperación en el ciclón (Kim et al., 2009). Tal como se expresa en Walstra (2001), la forma de la

cámara de secado es importante, mientras más pequeña sea, mayor es el riesgo de que las partículas húmedas choquen con las paredes y formen depósitos de polvo (con y sin transición vítrea) en el equipo, disminuyendo el rendimiento.

Se obtuvieron polvos finos de tamaño homogéneo, a excepción de C_l, con la que se obtuvo polvo de leche con partículas quemadas. Esto podría deberse aque a esa velocidad de ingreso del aire al secaderose expuso la muestra a altas temperaturas pudiendo ocasionar tanto daño físico como nutricional. El polvo que queda adherido a las paredes del equipo expuesto a la temperatura del aire de secado por más tiempo sufre una reacción de Maillard, responsable de su oscurecimiento.Thomsen et al. (2005a) han descripto que las reacciones de Maillard son uno de los responsables de la aparición del color marrón en los productos lácteos, principalmente debido a las interacciones que se producen entre la lisina y la lactosa. Otras causas pueden ser la oxidación de lípidos, mediante reacciones con aminoácidos y proteínas, produciendo oxipolímeros de color marrón. Además la cristalización de la lactosa produce radicales libres que pueden iniciar la oxidación de los lípidos y, por lo tanto, influir en la alteración del color de la leche (Thomsen et al., 2005b).

En base a los resultados descriptos se decidió descartar la velocidad del aire de 3,5 m/s y se seleccionó 4,5 m/s, con la que se obtuvo mayor rendimiento y mejor aspecto general del producto.

La Tabla 1 muestra los resultados obtenidos para los parámetros de calidad fisicoquímica.

Tabla 1. Parámetros de calidad de la leche de cabra fluida.

	Leche de cabra
pH	6,65±0,01
Acideztitulable (ºD)	16,6±0,3
Densidad (g/ml)	1,031±0,01
Reducción del azulmetileno	Buena

En la Tabla 2 se muestra la composición de la leche de cabra cruda descremada.

Tabla 2. Composición de la leche de cabra descremada fluida.

	Leche de cabra
Extractoseco (g/100g)	10,90±0,03
Proteína (g/100g)	5,03±0,01
Grasa (g/100g)	0,30±0,07
Cenizas (g/100g)	1,02±0,03
Carbohidratos	4,55±0,01

Los valores encontrados se encuentran dentro de los rangos permitidos por la legislación (C.A.A. capítulo VIII, art. 555), demostrando su aptitud para proceso y dentro de los considerados característicos en leches de cabra de Jujuy (Maldonado y Burgos, 2015).

El secado de la leche de cabra a 175°C (definida por la velocidad del aire de 4,5 m/s) a los tres niveles de caudal de alimentación 0,63, 1 y 1,5 lh/, permitió obtener los siguientes rendimientos: 72,79±0,01%, 82,49±0,02% y 85,63±0,01%, para temperatura de salida del aire (T_S) de 116°, 112° y 100ºC, respectivamente. Todos los rendimientos fueron superiores a los informados por De Oliveira et al. (2020) para leche de cabra entera en polvo, quienes utilizaron un flujo de alimentación de 1 kg/h y las siguientes condiciones de secado: T_E: 120ºC, T_S: 100ºC, T_E: 134ºC, T_S: 110ºC y T_E: 146ºC, T_S: 120ºC,con rendimientos de 55,7%, 60,3% y 62,5%, respectivamente. Estos autores atribuyen los bajos rendimientos al resultado de la acumulación de polvo dentro de la cámara de secado por aspersión, lo que provocó una menor productividad y más tiempo de inactividad para la limpieza frecuente.

En la Tabla 3 se muestran las características de las leches en polvo para las distintas condiciones de secado. Se observa que los contenidos de humedad de las leches en polvo se encuentran debajo del máximo de 4% (p/p) estipulado en la legislación para este tipo de producto (C.A.A. Capítulo VIII, art. 567). Además se encontró un efecto significativo del flujo de alimentación sobre la solubilidad y la densidad aparente de las leches en polvo. Se observó una menor solubilidad cuando se trabajó a los caudales más bajos (0,63 y 1 L/h), probablemente debido a la mayor desnaturalización de proteínas. Los valores de solubilidad se encuentran dentro de los reportados por Yaakub et al. (2019) para leche de cabra en polvo.

Tabla 3. Propiedades físicas de las leches en polvo obtenidas.

Temperatura de Salida T_S	116ºC	112ºC	100ºC
Humedad	2,9±0,1[(a)]	3,5±0,2[(b)]	3,5±0,1[(b)]
Solubilidad	87,1±0,3[(a)]	88±1[(a)]	90,8±0,2[(b)]
Densidad aparente	0,17±0,01[(a)]	0,17±0,01[(a)]	0,21±0,01[(b)]
a_w	0,22±0,01[(b)]	0,19±0,01[(a)]	0,26±0,01[(c)]
Higroscopicidad	4,1±0,1[(a)]	4,8±0,2[(b)]	5,0±0,5[(b)]

Valores promedio en la misma fila con letras distintas son significativamente diferentes (P<0,05).

Se observó que a T_S de 112ºC y 100ºC (consecuentes con mayores flujos de alimentación) las muestras presentaron mayor contenido de humedad e higroscopicidad. Esto implicaría que las T_S más bajas resultan en una mayor humedad residual, ya que cuando se utilizan temperaturas altas hay más calor disponible para eliminar el agua y, por lo tanto, el polvo se deshidrata más. Este efecto también fue informado por Schmitz-Schug et al. (2013) en leches fórmula para infantes por secado spray y por Fonseca et al. (2011) en leche de cabra en polvo con adición de lecitina. Además, considerando los valores de higroscopicidad, los sólidos obtenidos se clasifican como no higroscópicos (valores menores a 10%), esto es indicativo de un producto de larga vida útil(Bento et al., 2008).

Los valores de a_w fueron significativamente diferentes. Reddy et al. (2014) informaron valores similares en leches de cabra en polvo entre 0,16 a 0,23. Estos valores bajos de actividad de agua son adecuados para la estabilidad del producto, el que se considera estable frente a reacciones hidrolíticas, de oxidación lipídica y reacciones enzimáticas, indicando la posibilidad de una vida útil más larga (Atalar y Dervisoglu, 2015).

En la Tabla 4 se presentan los parámetros de color de las leches en polvo estudiadas. Los valores de luminosidad L^*resultaron mayores a los informados por Fonseca et al. (2011) de 83,07±0,66. No se observaron diferencias significativas entre los valores L^* con T_S de 112ºC y 100ºC. Cuando se trabajó con T_S de 116ºC las leches resultaron menos luminosas.Los valores más bajos de L^* con T_S de 116ºC pueden deberse al bajo flujo de alimentación, que aumenta los tiempos de secado y las tasas de evaporación. un mayor tiempo sugiere que una exposición más prolongada a altas temperaturas da como resultado mayor pardeamiento, mientras que la velocidad de secado depende directamente de la temperatura de salida y el tamaño de las gotas, lo que significa temperaturas altas de secado dan como resultado mayores alteraciones del color.

Tabla 4. Parámetros de color de las leches en polvo.

T_S	116ºC	112ºC	100ºC
L^*	95,7±0,5[(a)]	97,5±0,2[(b)]	97,5±0,1[(b)]
a^*	-1, 83±0,07[(a)]	-1,86±0,02[(a)]	-2,01±0,01[(b)]
b^*	8,39±0,05[(a)]	8,86±0,05[(b)]	9,26±0,04[(c)]

Valores promedio en la misma columna con letras distintas son significativamente diferentes (P<0,05).

El efecto encontrado respecto a la temperatura T_S también fue observado por Reddy et al. (2014), quienes señalaron que valores de L^* de la leche entera de cabra en polvo pueden disminuir ligeramente con el aumento de la temperatura del aire de entrada.

Cuando se utilizó una menor temperatura de aire de salida (100ºC) se obtuvieron valores significativamente superiores para los parámetros de color, mostrando además la influencia del flujo de alimentación. Con estas condiciones de operación las gotas y luego el polvo están sometidos a menor temperatura durante su recorrido por el equipo y por lo tanto sufren menor daño. Todas las muestras tendieron al verde (a^*< 0) y al amarillo (b^* > 0) aumentando

significativamente la tendencia al amarillo con el aumento del caudal de alimentación.Estos resultados son coincidentes con los reportes de De Oliveira et al. (2020) quienes indican quelas velocidades de flujo de alimentación más altas producen menos variaciones de color.

4. CONCLUSIÓN

El rendimiento del producto final aumentó a medida que se incrementó el flujo de alimentación y conforme disminuyó la temperatura de salida del aire en la cámara de secado.

Las condiciones de secado que permitieron un mayor rendimiento de producto final (85,63%) resultaron en un flujo de alimentación 1,5 l/h, temperatura de entrada del aire de 175ºC y temperatura de salida del aire 100ºC.

Las muestras de leche de cabra descremada en polvo resultaron con baja actividad de agua e higroscopicidad y bajos contenidos de humedad, lo que hace que sea posible almacenarlas a temperatura ambiente.

Los parámetros de color se conservaron denotando que no hubo daños a causa de la temperatura de secado.

Considerando la solubilidad, higroscopicidad,actividad de agua, densidad aparentede la leche de cabra descremada en polvo seleccionadahacen posible su almacenamiento prolongado y su uso como materia prima de productos lácteos caprinos, en épocas de baja producción de leche.

5. REFERENCIAS

A.O.A.C. (1995). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist.

Akbarbaglu, Z., Peighambardoust, S. H., Sarabandi, K., & Jafari, S. M. (2021). Spray drying encapsulation of bioactive compounds within protein-based carriers; different options and applications. *Food Chemistry*, *359*, 129965.

Atalar, I., y Dervisoglu, M. (2015). Optimization of spray drying process parameters for kefir powder using response surface methodology. *LWT-Food Science and Technology*, *60*(2), 751-757.

Bento, M., da Fonseca, C. R., Hernandez, V. V., de Oliveira, C. A. F., & Gabas, A. L. (2008). Properties of goat milk powder obtained by different process conditions in spray dryer. In *Central theme, technology for all: sharing the knowledge for development. Proceedings of the International Conference of Agricultural Engineering, XXXVII Brazilian Congress of Agricultural Engineering, International Livestock Environment Symposium-ILES VIII, Iguassu Falls City, Brazil, 31st August to 4th September, 2008*. International Commission of Agricultural Engineering (CIGR), Institut fur Landtechnik.

Bocci, D.; Casas, M. 2013.Producción de leche en polvo entera, parcialmente descremada y descremada. Proyecto Final. Universidad Nacional de Cuyo, Argentina. Disponible: http://feminismo.bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/7878/producciondelecheenpolvo.pdf

De Oliveira, A. H., Mata, M. E. R. C., Fortes, M., Duarte, M. E. M., Pasquali, M., & Lisboa, H. M. (2020). Influence of spray drying conditions on the properties of whole goat milk. *Drying Technology*, *39*(6), 726-737.

Fonseca, C. R., Bento, M. S., Quintero, E. S., Gabas, A. L., & Oliveira, C. A. (2011). Physical properties of goat milk powder with soy lecithin added before spray drying. *International journal of foodscience&technology*, *46*(3), 608-611.

Guardiola Rodríguez. (2015). Elaboración de bases lácteas en polvo mediante secado por atomización para fabricación de chocolate. Ilu, 18. https://doi.org/10.5209/revHICS.2013.v18.44355.

Hammad, M. N. F., Abdel-Kader, Y. I., & El-Metwally, M. M. M. (2017). Mozzarella cheese from recombined cow milk. *Ind. J. Dairy Sci*, *71*, 360-367.

Jaya, S., & Das, H. (2004). Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powder properties. *Journal of Food Engineering*, *63*(2), 125-134.

Kim, E. H. J., Chen, X. D., & Pearce, D. (2009). Surface composition of industrial spray-dried milk powders. 1. Development of surface composition during manufacture. *Journal of Food Engineering*, *94*(2), 163-168.

Kirk, R., Sawyer R. Egan H. (1999). Composición y Análisis de los alimentos de Pearson, Editorial Continental S.A. de C.V., segunda edición en español, México.

Maldonado S., R. Bernal, L. Burgos, J. Santapaola. 2012. Production and Commercialization of Goat Milk and Cheese in Northwest Argentina. In: Goats: Habitat, Breeding and Management, Nova Science Publishers ISBN: 978-1-61942-932-1; 1-38.

Maldonado, S., Burgos, L. (2015). Quality Indices for Goat Milk. International journal of emerging Technology and Advanced (IJETAE) ISSN: 2250-2459, Volume 5, Issue 10.

McGhee, C. E., Jones, J. O., & Park, Y. W. (2015). Evaluation of textural and sensory characteristics of three types of low-fat goat milk ice cream. *Small Ruminant Research*, *123*(2-3), 293-300.

Mezhericher, M., Levy, A., &Borde, I. (2010). Spray drying modelling based on advanced droplet drying kinetics. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, *49*(11), 1205-1213.

Ogolla, J. A., Kulig, B., Bădulescu, L., Okoth, M. W., Esper, G., Breitenbach, J., ... & Sturm, B. (2019). Influence of inlet drying air temperature and milk flow rate on the physical, optical and thermal properties of spray-dried camel milk powders. *Food and bioprocess technology*, *12*(5), 751-768.

Organización Mundial de la Salud (2018). Global Nutrition Policy Review 2016-2017, Country progress in creating enabling policy environments for promoting healthy diets and nutrition. 2018.

Reddy, R. S., Ramachandra, C. T., Hiregoudar, S., Nidoni, U., Ram, J., &Kammar, M. (2014). Influence of processing conditions on functional and reconstitution properties of milk powder made from Osmanabadi goat milk by spray drying. *Small RuminantResearch*, *119*(1-3), 130-137.

Rodríguez Otálora, Y. A. (2017). Evaluación de la tecnología del secado por aspersión para la obtención de leche en polvo de búfala (Bubalusbubalis). Facultad de Ciencias Agropecuarias. Colombia. Disponible en: https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/59954/1036931683.2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rojas-Castro, W. N., Chacón-Villalobos, A., & Pineda-Castro, M. L. (2007). Características del yogurt batido de fresa derivadas de diferentes proporciones de leche de vaca y cabra. *Agronomíamesoamericana*, *18*(2), 221-237.

Schmitz-Schug, I., Foerst, P., &Kulozik, U. (2013). Impact of the spray drying conditions and residence time distribution on lysine loss in spray dried infant formula. *Dairy science & technology*, *93*(4-5), 443-462.

Sert,D.y E. Mercan (2021) Determination of physicochemical properties, powder flow behavior and particle size parameters of goat milk powders with different fat content. International Journal of Pure and Applied Sciences, 7 (2021), pp. 196-206.

Sharma, A., Jana, A. H., &Chavan, R. S. (2012).Functionality of milk powders and milk□based powders for end use applications—a review. *Comprehensive Reviews in Food science and Food safety*, *11*(5), 518-528.

Thomsen, M. K., Lauridsen, L., Skibsted, L. H., &Risbo, J. (2005a). Temperature effect on lactose crystallization, Maillard reactions, and lipid oxidation in whole milk powder. *Journal of agricultural and food chemistry*, *53*(18), 7082-7090.

Thomsen, M. K., Lauridsen, L., Skibsted, L. H., &Risbo, J. (2005b). Two types of radicals in whole milk powder. Effect of lactose crystallization, lipid oxidation, and browning reactions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *53*(5), 1805-1811.

Vásquez-Villalobos, V., Aredo, V., Velásquez, L., &Lázaro, M. (2015). Propiedades fisicoquímicas y aceptabilidad sensorial de yogur de leche descremada de cabra frutado con mango y plátano en pruebas aceleradas. *Scientia Agropecuaria*, *6*(3), 177-189.

Walstra, P., Geurts, T. J., Noomen, A., Jellema, A., & Van Boekel, M. A. J. S. (2001). *Ciencia de la leche y tecnología de los productos lácteos* (No. Sirsi) i9788420009612). Zaragoza: Acribia.

Yaakub, N.M., Zainil, H. M., &Xiang, L. J. (2019). Effect of spray drying temperature differences on the gross nutritional composition and solubility and sinkability of goat milk powder. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, *17*(2), 206-210.

Zhang, H., Xia, W., Xu, Y., Jiang, Q., Wang, C., Wang, W. (2013). Effects of spray-drying operational parameters on the quality of freshwater mussel powder. FoodBioprod. Process. 91, 242–248.

Herramienta para medir el nivel de madurez de la cultura de inocuidad alimentaria en una organización.

Chauvet, Susana [1]; Estapé, Marcos G.[1];Belló, B. Elí[2]

(1) Gabinete de Calidad Total, Depto. de Ingeniería Procesos y Gestión Industrial, FACET, Universidad Nacional de Tucumán.
schauvet@herrera.unt.edu.ar; mgestape@gmail.com

(2) Depto. de Mecánica, FACET- Universidad Nacional de Tucumán.
ebello@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN

Prácticamente, cada empresa que forma parte de la industria global alimentaria sigue algún grado de prácticas de manejo de alimentos inocuos.La GFSI(Iniciativa Global de Inocuidad Alimentaria) cree que las prácticas dedicadas a mantener una cadena alimentaria inocua deberían ser habituales y sistemáticas. Estas cualidades pueden desarrollarse naturalmente dentro de un marco cultural positivo y de apoyo, aunque las mismas demanden inversión consciente, supervisión estratégica y un continuo compromiso. En este trabajo, se presenta una herramienta para evaluar el grado o nivel de madurez inicial de la cultura de inocuidad alimentaria en una empresa. Esta herramienta consta de formularios específicos que involucran un conjunto de preguntas con respuestas valoradas del 1 al 5. Las preguntas que contiene cada formulario se encuentran agrupadas teniendo en cuenta las 5 dimensiones o pilares de la cultura de inocuidad alimentaria: “Liderazgo, “Personas”,“Alineación a la Inocuidad”, “Adaptabilidad” y “Concientización de Peligros y Riesgos”.
Este trabajo sienta las bases para futuras investigaciones en las que se evaluarán los resultados obtenidos a partir de los formularios, lo que permitirá implementar acciones correctivas y preventivas para promover una cultura de inocuidad sólida y efectiva a partir de la recopilación de datos y su análisis estadístico.

ABSTRACT

Practically, every company that is part of the global food industry follows some degree of safe food handling practices. GFSI(Global Food Safety Initiative) believes that practices dedicated to maintaining a safe food chain should be routine and systematic. These qualities can naturally develop within a positive and supportive cultural framework, although they require conscious investment, strategic oversight, and ongoing commitment. In this work, a tool is presented to assess the degree or level of initial maturity of the food safety culture in a company. This tool consists of specific forms that involve a set of questions with responses valued from 1 to 5. The questions in each form are grouped considering the 5 dimensions or pillars of the food safety culture: "Mission and Vision," "People," Consistency, "Adaptability," and "Awareness of Hazards and Risks." This work lays the foundation for future research in which the results obtained from the forms will be evaluated, enabling the implementation of corrective and preventive actions to promote a solid and effective food safety culture based on data collection and statistical analysis of the data.

Palabras Clave: Cultura de Inocuidad – Nivel de Madurez.

Keywords: Food Safety Culture –Maturity Level.

1. INTRODUCCIÓN

Producir alimentos es probablemente una de las actividades más significativas que el ser humano desarrolla y ha sido un factor clave de la evolución y desarrollo de la humanidad (Yiannas, 2009). Es en torno a los alimentos, que se desarrollan un conjunto de dimensiones de nuestra existencia, que van desde su esencialidad vital, en sus fundamentos nutricionales y sanitarios, hasta llegar a los de la cocina y la gastronomía vinculados al placer sensorial y la creatividad artística e intelectual, pasando por dimensiones económicas como objeto de consumo, sociales, como indicador de poder y relaciones cambiantes, y dimensiones ambientales, en su vinculación con la sustentabilidad de las prácticas productivas (Yiannas, 2009).

En el rubro de la inocuidad alimentaria actual, hay mucha más bibliografía científica sobre microorganismos específicos, procesos de tiempo/temperatura, contaminación postprocesos, y HACCP (Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control, por sus siglas en inglés), todos los cuales pertenecen a la categoría de las ciencias duras (Yiannas, 2009). Sin embargo, no hay mucha información publicada o analizada con respecto al comportamiento y a la cultura humana, que generalmente se denominan como “habilidades blandas”.

El término cultura tiene varias aristas, desde las expresiones del arte; pasando por un bagaje de conocimientos generales, hasta las costumbres y valores acordados explícita o implícitamente por un grupo de personas o comunidad (Llanos Encalada, 2016). Otra definición de cultura es que son patrones de pensamiento y comportamiento que caracterizan a un grupo social, que se pueden aprender mediante procesos de socialización y que persisten en el tiempo (Coreil et al., 2001).Por lo tanto, una cultura de inocuidad alimentaria se puede visualizar en términos de cómo y qué piensan los empleados en una empresa u organización al respecto. Son las conductas sobre inocuidad alimentaria que practican y demuestran rutinariamente.

Cada vez son más las organizaciones que consideran la cultura como estrategia competitiva, ya que les permite institucionalizar y fomentar entre sus colaboradores los valores, formas de comunicación y de relaciones laborales quepropenden al éxito de sus organizaciones (Llanos Encalada, 2016).

La concientización sobre inocuidad alimentaria se encuentra en un punto álgido; se están reconociendo nuevas amenazas emergentes a los suministros alimentarios y los consumidores están incorporando a su dieta más y más alimentos preparados fuera del hogar. Por consiguiente, los establecimientos de venta de alimentos y de servicios alimentarios, así como los productores de alimentos en todos los niveles de la cadena de producción, tienen una creciente responsabilidad de garantizar que se sigan las prácticas correctas de inocuidad alimentaria y sanitización, resguardando así la salud de sus consumidores. Lograr el éxito en inocuidad alimentaria en este entorno cambiante generalmente requiere ir más allá de los enfoques de capacitación, pruebas y fiscalización tradicionales respecto del manejo de riesgos. Requiere un entendimiento más cabal de la cultura organizacional y los alcances humanos sobre la inocuidad.Se debe cambiar su comportamiento.

Para lograr el éxito en inocuidad alimentaria, generalmente se requiere más que una comprensión cabal de las ciencias alimentarias. Requiere una mejor integración entre las ciencias alimentarias y las ciencias del comportamiento para crear un sistema de gestión en inocuidad alimentaria basado en el comportamiento, o una cultura de inocuidad alimentaria, y no solamente un programa que aborde este asunto.

Hoy en día, el medir el nivel de madurez de la cultura de inocuidad alimentaria es un requisito de las principales normas de Sistemas de Gestión Alimentaria. Para ello, se necesita clarificar las dimensiones a medir de la cultura de inocuidad, establecer una escala adecuada con el objetivo de medir el nivel base de madurez de la cultura para establecer planes de mejoras y volver a utilizar el mismo instrumento para evaluar el nivel de avance conlas mejoras implementadas.

2. MATERIALES Y METODOS

La cultura organizacional es un aspecto que adquiere cada vez mayor relevancia, ya que se ve influenciada por los continuos cambios del ambiente. Por ende, medir la cultura organizacional permite conocer el impacto que esta tiene sobre los resultados de la empresa

(Carrillo Punina, 2016). Una propuesta para medir la cultura organizacional de Morelos-Gómez y Fontalvo-Herrera (2014), tomó en cuenta5factores: la estrategia, la estructura, el trabajo en grupo, los propietarios y el liderazgo. Otros estudios empíricos de las características básicas de la cultura organizacional, de Robbins y Judgey (2009), consideran evaluar la innovación, orientación a los resultados y orientación a las personas.

El método diseñado y desarrolladopor el Institut Químic de Sarrià de la Universidad Ramon Llull (Sheffick et al., 2007), propone evaluarla Cultura Preventiva en 5 parámetros: Compromiso (de la dirección visible y constatable); Participación (las personas se deben sentir parte del sistema de gestión de la seguridad); Responsabilidad(cada persona asume su rol en temas de seguridad); Rigor de Cumplimiento(cumplimiento estricto de la normativa); Gestión y Coherencia(se garantiza una comunicación efectiva, en todas las direcciones y de manera ágil y rápida).

Por otro lado, según Yiannas (2009), para medir la cultura de inocuidad alimentaria se consideran los siguientes elementos: Liderazgo de la alta dirección; Confianza de parte de todos los empleados; Visibilidad y liderazgo; Responsabilidad; Compartir conocimientos e información; y Mejores prácticas.

También, Mike Robach,presidente del Consejo de la GFSI (2020),define la cultura de inocuidad alimentaria como “Valores, creencias y normas compartidas que afectan la forma de pensar y el comportamiento con relación a la inocuidad alimentaria en, a través y a lo largo y a lo ancho de una organización” Y considera que, para evaluar la madurez de la cultura de inocuidad alimentaria se deben tener en cuenta: la “Visión y Misión”, ya que comunican la razón de la existencia de una compañía y cómo esto se traduce en sus expectativas y mensajes específicos para sus actores claves; Las “personas”, las cuales son un componente crítico de cualquier cultura de inocuidad alimentaria; la “Consistencia”, o sea la alineación apropiada de las prioridades de inocuidad alimentaria con los requisitos sobre las personas, la tecnología, y los procesos para asegurar la aplicación consistente y efectiva del programa de inocuidad alimentaria;La “Adaptabilidad”, se refiere a la habilidad de una organización de ajustarse a las influencias y condiciones cambiantes y responder dentro de su estado actual o movilizarse a uno nuevo; La“Concientización de los peligros y riegos”, que se refiere a reconocer los peligros y riesgos actuales y potenciales en todos los niveles y funciones de la empresa.

Tomando en consideración los distintos elementos mencionados por los autores, se adoptó para evaluar el nivel de madurezlas siguientes dimensiones: 1) Liderazgo, 2) Orientación hacia las personas, 3) Alineación a la inocuidad, 4) Habilidad de una organización para ajustarse a las influencias y condiciones cambiantes y 5) Reconocer los peligros y riesgos actuales y potenciales.

La dimensión 1, “Liderazgo”, se plantea evaluar aspectos relacionados con el compromiso de la dirección, la asignación de recursos para la inocuidad y la comunicación de la dirección.

La dimensión 2,“Orientación hacia las personas”, analiza cómo los comportamientos y actividades de los empleados contribuyen a la inocuidad alimentaria y potencialmente decrecen o incrementan el riesgo de las enfermedades transmitidas por alimentos, para lo cual es importante establecer una estructura formal de inocuidad alimentaria con responsabilidades y roles claramente definidos. Elementos más amplios de esta dimensión incluyen, desde la educación de los empleados, el refuerzo de los buenos comportamientos, hasta la creación de gobernanza y métricas apropiadas. También, en esta dimensión se planteaevaluar el grado con el cual se empodera a las personas para promover la inocuidad alimentaria, lo cual impactará en la habilidad de la organización para adaptarse, mejorar y sostener su cultura de inocuidad alimentaria. Además, se analiza cómo la buena comunicación asegura que los mensajes en relación con la inocuidad alimentaria sean entendidos por todos dentro de la organización.

Para la dimensión 3, sobre la “Alineación a la inocuidad”, se analiza la consistencia al alinear las prioridades de inocuidad alimentaria, con las personas, la tecnología, recursos y procesos con el fin de aplicar efectivamente un programa de inocuidad alimentaria y respaldar su cultura.

Dicha alineación ocurre en acciones y comportamientos variados y relacionados que incluyen la responsabilidad y el cumplimiento, la medición del desempeño y la documentación. Otros procesos esenciales donde la consistencia es crucial incluyen, el establecimiento de la direcciónen alineación con los riesgos, las inversiones y una comunicación coherente de inocuidad alimentaria.

Para la dimensión 4: "Habilidad de una organización para ajustarse a las influencias y condiciones cambiantes", se analiza la adaptabilidad,es decir,la habilidad de una organización para ajustarse a las influencias y condiciones cambiantes del entorno. El cambio puede ser anticipado o puede tomar forma de un evento, tal como el retiro de un producto o un inconveniente con un cliente o autoridad legal. En una empresa con una cultura de inocuidad fuerte, su adaptabilidad se ve reflejada en su habilidad de anticiparse, prepararse, responder, o adaptarse al cambio y a los problemas. Un liderazgo fuerte y comprometido juega un rol significativo en cuan bien la organización se adapta y responde al cambio.

Ladimensión 5, que corresponde a "Reconocer los peligros y riesgos actuales y potenciales", se basa en entender los peligros a todos los niveles organizacionales, lo cual es esencial para establecer una cultura efectiva de inocuidad alimentaria. Esto puede ser logrado a través de una educación continua, el uso de parámetros, premios, acciones disciplinarias, reconocimientos, y reforzando la importancia de reconocer y controlar los peligros relacionados con la inocuidad alimentaria.

Para determinar el nivel de madurez de la cultura de inocuidad de una empresa,la GFSI propone evaluar las preguntas de cada una de las dimensiones, en una escalacuyos niveles van del 1 al 3, siendo:

Nivel 1: no se dispone de los medios necesarios para cumplir o se tiene muy poca implementación, se ha diseñado pero no se ha aplicado, se aplica en alcance muy limitado.

Nivel 2: se dispone de diseño para ser implementado (planes, instructivos, procedimientos), se ha implementado, falta poco para completar el alcance o falta la evaluación.

Nivel 3: se dispone de diseño completo, la implementación es completa (abarca todo el alcance) y se ha evaluado la eficacia.

Por otro lado, la Food Standards Australia New Zealand (FSANZ) propone una escala cuyos niveles van del 1 al 9, colocando referencias en el nivel más bajo, en el nivel medio y en el nivel máximo. Estas referencias sirven para orientar al encuestado a responder según la realidad de su organización.

Según el Modelo de Madurez Organizacional ISO/IEC 15504 existen 5 niveles de madurez organizacional y cada uno de ellos manifiesta el nivel en el que los procesos, personas, datos y tecnología han logrado ensamblarse. Ellos son, Madurez inicial: donde los procesos resultan de medidas poco planificadas y una implementación que puede ser caótica; Organización gestionada: cuando la empresa cuenta con una estrategia de negocio definida y ha alcanzado todos los objetivos generales y específicos de las áreas de procesos; Organización definida: cuando la organización ha alcanzado todos los objetivos específicos y generales de las áreas de procesos que formaban parte de los niveles anteriores; Organización gestionada cuantitativamente: cuando la organización ha alcanzado todos los objetivos específicos y generales de las áreas de proceso asignadas a los niveles de madurez anteriores y; Optimización: cuando la organización ha logrado alcanzar todos los objetivos específicos y generales de las áreas de proceso previas y existe un mayor grado de ciudadanía organizacional.

Por otro lado, para el nivel de madurez de los procesos según Rosemann y De Bruin (2005), una empresa puede estar en: Nivel inicial: los procesos son desorganizados e incluso pueden llegar a ser caóticos; Nivel repetible: se basa en técnicas básicas de gestión y administración de los proyectos; Nivel definido: la compañía tiene su propio proceso de software estándar y cuenta con mayor atención a la documentación, integración y estandarización; Nivel administrado: la empresa monitorea y gestiona sus propios procesos gracias a la recolección y

análisis de datos y Nivel de optimización: los procesos se mejoran de manera constante mediante la supervisión de los procedimientos actuales y la introducción de procesos innovadores.

La metodología que se propone usar para evaluar las preguntas y determinar el nivel de madurez en este trabajo es una escala de 5 niveles, lo que se traduce a un nivel de madurez: 1) Inicial, 2)Reactivo, 3) Cumplimiento, 4) Compromiso y 5) Optimización.

3.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La metodología para realizar el análisis del nivel de madurez inicial de la cultura de inocuidad de una empresa, se usó como base para su implementación una serie de preguntas, cuyas respuestas son valoradas en una escala del 1 al 5, siendo 1 el nivel más bajo o inicial y 5 el nivel más alto o de optimización.

Se formularon preguntas para cada una de las dimensiones seleccionadas: Liderazgo a la inocuidad; Orientación hacia las Personas,; Alineación a la Inocuidad,; Habilidad para el Cambio y Reconocer los Peligros de Inocuidad actuales y potenciales. A continuación, se indican para cada dimensión:

Liderazgo a la Inocuidad: en esta dimensión se debe evaluar el nivel de involucramiento de la dirección de la empresa con la inocuidad:

1) ¿Cómo se comprometen los líderes directivos con la inocuidad alimentaria?

2) ¿En qué medida la dirección provee los recursos para cumplir con los principios de inocuidad alimentaria?

3) ¿En qué medida se emiten mensajes y recordatorios para comunicar la inocuidad alimentaria a los empleados?

4) ¿En qué medida están plasmadas las prácticas de inocuidad en el comportamiento de los mandos medios?

5) ¿En qué medida usted pregunta a los jefes y mandos medios si tienen problemas o inconvenientes para cumplir con temas de inocuidad alimentaria?

Orientación hacia las Personas: las personas son un componente crítico para la cultura de inocuidad alimentaria, ya que son los hacedores de la inocuidad de los productos, por ello se intenta medir el involucramiento de las personas y el comportamiento de las mismas.

1) ¿Cómo contribuye usted a la cultura de inocuidad en la organización?

2) ¿En qué medida se le efectúan evaluaciones de desempeño en temas de inocuidad alimentaria?

3) ¿Cuándo fue la última vez que usted o alguien de su equipo plantearon una preocupación de inocuidad alimentaria?

4) ¿Cuál es el nivel de confianza que tiene en sus subordinados en temas de inocuidad alimentaria?

5) ¿En que medida piensa que el personal entiende lo que se le comunica sobre aspectos de inocuidad alimentaria?

Alineación a la Inocuidad: se intenta evaluar como la empresa esta alineada a la inocuidad alimentaria.

1) ¿En qué medida tiene usted confianza en el trabajo que desarrollan sus jefes y mandos medios en temas de inocuidad alimentaria?

2) ¿En qué medida se evalúan indicadores de su sector relacionados con la inocuidad alimentaria?

3) ¿Se encuentra su documentación diseñada para respaldar las decisiones y comportamientos de los empleados en relación con la inocuidad alimentaria?

4) ¿En qué medida se realizan evaluaciones de desempeño en temas de inocuidad alimentaria?

5) ¿En qué medida se toman acciones correctivas y se implementan mejoras en base a las evaluaciones anteriores?

Habilidad para el Cambio: se quiere evaluar la habilidad de una organización para ajustarse a las influencias y condiciones cambiantes del entorno.

1) ¿En qué medida la empresa se anticipa, prepara y responde a los cambios que afectan a la inocuidad de los productos?

2) ¿En qué medida usted se adapta a los cambios asociados a la inocuidad de los productos y/o de los procesos?

3) ¿En qué medida la empresa tiene agilidad para evaluar las oportunidades y/o amenazas y ajustar estrategias sobre temas de inocuidad?

4) ¿En qué medida se realiza el seguimiento del plan de inocuidad alimentaria?

5) ¿En qué medida se realiza la revisión de la política y de los objetivos de la empresa en materia de inocuidad alimentaria?

Reconocer los peligros y Riesgos Actuales y Potenciales: las preguntas propuestas apuntan a evaluar el nivel de conciencia de la organización en temas de inocuidad.

1) ¿En qué medida conocen sus empleados los peligros y niveles de riesgo que implica su trabajo en la inocuidad de los productos?

2) ¿Cómo usted revisa los "cuasi-incidentes" y utiliza dicha información para dirigir las mejoras en su sistema de inocuidad?

3) ¿Con que frecuencia usted evalúa si sus empleados entienden los peligros y riesgos que involucran sus actividades en la inocuidad de los alimentos?

Definidas las preguntas para cada una de las dimensiones, para la evaluación se propuso tener un cuestionario dirigido cada uno de los niveles: Dirección, Mandos medios y Operativos.

Por ejemplo, para la dimensión "Liderazgo a la Inocuidad", la pregunta para direcciones es:¿En qué medida usted provee los recursos a sus jefes y mandos medios para cumplir con los principios y prácticas de inocuidad alimentaria?, la pregunta dirigida hacia los jefes y mandos medios es:¿En qué medida la dirección le provee los recursos para cumplir con los principios y prácticas de inocuidad alimentaria? La pregunta para el sector operativo es:¿En qué medida su jefe le da los recursos para cumplir con las prácticas de inocuidad alimentaria?

De este modo, todas las preguntas fueron reformuladas y adaptadas para cada nivel.

Se propone que cada cuestionario seresponda virtualmente en un formulario Google, con una primera parte con preguntas para caracterizar al personal que contesta, mediante elementos de manera de preservar su identidad con el objeto de asegurar la confidencialidad de la información.Estos elementos son: la edad, genero, área, antigüedad en la empresa, nivel de formación académica, etc. a fin de poder parametrizar la información en función de estos elementos.

Se propone que en función de la información la misma seaevaluada haciendo uso de los promedios de cada dimensión y el promedio general para caracterizar el nivel de madurez global. Pudiendo representar la información con grafico radial de cada dimensión.

4.CONCLUSIONES

El propósito de este trabajo fue establecer una herramienta para caracterizar y medir el nivel de madurez de la cultura de inocuidad alimentaria.Luego de revisar y estudiar la literatura publicada que ha hecho uso de modelos de madurez podemos decir que contamos con una herramienta que puede ser usada en las diferentes áreas y la cual se puede adaptar sencillamente a la empresa a evaluar. Esta herramienta permitirá diferenciar fortalezas y debilidades en diferentes áreas relativas a la cultura de inocuidad de inocuidad. Por otro lado, permitirá saber las diferencias de pensamiento que tienen los grupos de trabajo acerca de la cultura en la organización.

Una vez obtenido el nivel de base se deberá comenzar a trabajar en las debilidades obtenidas en las áreas críticas de la organización.

5. REFERENCIAS

Carrillo Punina, A. P. (2016) *Medición de la Cultura Organizacional. Universidad de las Fuerzas Armadas. Ecuador.*

Coreil, J.; Bryant, C.; Henderson, J. (2001). *Social and Behavioral Foundations of Public Health.*

Morelos-Gómez, J. y Fontalvo-Herrera, T. J.(2014). *Análisis de los factores determinantes de la cultura organizacional en el ambiente empresarial. Entramado, 10(1), 96-105.*

Robach, M. *Presidente del Consejo de la GFSI (2020)*

Robbins, S. P. y Judgey, T. A. (2009). *Comportamiento organizacional (Décimo tercera ed.). México: Mc Graw Hill.*

Sheffick, R.; Crespo, A.; Sempere, J. (2007). *El enfoque de la seguridad desde la conducta humana. Barcelona.*

Yiannas, F. (2009). *Food Safety Culture: Creating a Behavior-Based Food Safety Management System. Springer Science& Business Media.*

Frutos de *Schinus areira* L. de Jujuy: Evaluación de propiedades biológicas para su empleo en infusiones artesanales

Cruz, Mauro[1]; Viturro, Carmen[1,2];Bazalar Pereda,Mayra.[1,2]

(1)Laboratorio PRONOA, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy, Argentina. 14maurogabrielcruz@gmail.com

(2)CIITeD-CONICET, Universidad Nacional de Jujuy, Argentina. mayrasbp@gmail.com

RESUMEN

El empleo de plantas aromáticas y medicinales (PAM) en la formulación de infusiones, aumentó notablemente en los últimos años debido a las propiedades biológicas que presentan. *Schinus areira* L., es una especie aromática y medicinal que crece de forma silvestre en Argentina, es utilizada en medicina herbaria y en preparaciones culinarias desde épocas antiguas. El objetivo de esta investigación fue realizar una evaluación preliminar de las propiedades biológicas: actividad antirradicalaria, actividad citotóxica y contenido de fenoles totales de frutos de *Schinus areira* de zonas de altura de Jujuy, para su posterior uso como materia prima en la elaboración de infusiones artesanales a base de diversas PAM. Se obtuvieron los siguientes resultados: EC_{50}= 156 ± 3 µg/mL, contenido de fenoles totales= 40 ± 1 mg EAG/g SS, CL_{50}= 617 ± 30 µg/mL. Los valores de capacidad antirradicalaria y contenido de fenoles totales fueron comparables con los reportados en otras investigaciones para infusiones de especies vegetales usadas con propósitos medicinales. El valor de actividad citotóxica, muestra a los frutos investigados como un potencial componente de formulaciones alimentarias. Los resultados de esta investigación alientan a continuar con los estudios iniciados y proseguir con la formulación de una infusión artesanal de alto valor agregado.

Palabras Clave: *Schinus areira* -actividad antirradicalaria- citotoxicidad-fenoles totales

ABSTRACT

The use of aromatic and medicinal plants (PAM) in the formulation of infusions has increased significantly in recent years due to the biological properties they present. *Schinus areira* L., is an aromatic and medicinal species that grows wild in Argentina, it is used in herbal medicine and culinary preparations since ancient times. The objective of this research was to carry out a preliminary evaluation of the biological properties: antiradical activity, cytotoxic activity and total phenol content of *Schinus areira* fruits from high altitude areas of Jujuy, for their subsequent use as raw material in the preparation of artisanal infusions.The following results were obtained: EC_{50}= 156 ± 3 µg/mL, total phenol content= 40 ± 1 mg EAG/g SS, LC_{50}= 617 ± 30 µg/mL. The values of antiradical capacity and total phenol content were comparable with those reported in other investigations for infusions of plant species used for medicinal purposes. The value of cytotoxic activity shows the investigated fruits as a potential component of food formulations. The results of this research encourage us to continue with the studies started and continue with the formulation of an artisanal infusion with high added value.

Keywords:*Schinus areira*– antiradical activity – cytotoxic –total phenol content

1 INTRODUCCION

Las infusiones desempeñan un importante papel en la vida social y cultural de la población humana desde hace miles de años. Desde nuestros antepasados, las plantas se han utilizado en forma de infusiones para tratar diferentes padecimientos o como método de relajación. Actualmente, siguen siendo las bebidas más consumidas en todo el mundo después del agua, debido a que son sanas, naturales, refrescantes y de exquisitos sabores y olores (Heredia, 2021).

Durante los últimos años, la utilización de plantas aromáticas y medicinales (PAM) en la

formulación de infusiones, ha aumentado notablemente debido a sus propiedades antioxidantes (Cañigueral et al., 2003).La diversidad de compuestos producidos por el metabolismo secundario de las PAM, son los responsables de la bioactividad y varios de ellos actúan como captadores de radicales libres.

La flora argentina presenta una vasta diversidad de plantas aromáticas y medicinales, endémicas o introducidas. Es destacable la riqueza de especies medicinales con tradición etnobotánica pertenecientes a familias *Asteraceae*, *Apiaceae*, *Anarcadiaceae*, *Lamiaceae*, *Verbenaceae* (Viturro, 2002). En Argentina, las PAM son consumidas como infusiones o empleadas como ingredientes en diversas preparaciones culinarias (Hilger, 2001; Viturro et al., 2010). Son de uso extendido en la medicina folclórica y de gran potencial como fuente de bioactivos vegetales.

La provincia de Jujuy, en el noroeste argentino, cuenta con una amplia diversidad biológica y un gran potencial para el cultivo y desarrollo de PAM. Las PAM de regiones semiáridas y áridas de Jujuyhan demostrado poseer diferentes actividades biológicas como agentes antioxidantes y antimicrobianos debido a su producción de principios activos de interés, entre ellos compuestos terpénicos, fenólicos y flavonoides (Viturro et al., 2004; Viturro et al., 2007; Cabana et al., 2013; Celaya et al., 2016; Celaya et al., 2019). Las PAM crecen en condiciones agroecológicas y climáticas especiales principalmente debido a las bajas temperaturas de la noche, escasez de agua y alta radiación UV. Estas condiciones ambientales, modulan la producción de principios activos de interés (Viturro, 2002).

Schinus areira L., conocido como molle, aguaribay, pirú, es una especie aromática y medicinal que crece de forma silvestre en Argentinadesde la provincia de Jujuy hasta Córdoba, ha sido utilizada (tanto hojas, frutos, tallos y ramas) en medicina herbaria por poblaciones indígenas como infusiones, condimentos, cataplasmas, colirios y brebajes, con diferentes usos comodiurético, para el tratamiento del reumatismo, trastornos estomacales, trastornos menstruales, bronquitis, conjuntivitis entre otros (Barboza et al., 2009; Rhouma et al., 2009; Viturro et al., 2010). Sus frutos (Fig.1) se usan en la medicina tradicional como antibacterianos, antifúngicos y antirreumáticos (Molina-Salinas et al., 2007). Además, estos frutos, comúnmente conocidos como "Pimienta Rosa", se utilizan como sustituto o en combinación con la pimienta negra debido a su olor penetrante en los preparativos de alimentos y bebidas, otorgando a las preparaciones culinarias un carácter pungente(Murray & Murray, 2017).

Figura 1: Frutos de *Schinus areira*L.

Respecto a la actividad biológica de *Schinus areira*, se investigaron las propiedades antioxidantes de extractos hidroalcohólicos de hojas y frutos de la especie vegetal (Celaya et al., 2013; Bazalar Pereda et al., 2016; Celaya et al., 2016; Bazalar Pereda et al., 2019).Estas investigaciones científicas han demostrado que tanto hojas como frutos de *Schinus areira*son una importante fuente de principios activos con potencial aplicación para diversos fines.

2 OBJETIVO

El objetivo de esta investigación fue determinar las propiedades biológicas: actividad antirradicalaria (AAR), actividad citotóxica (ACT) y contenido de fenoles totales (CFT) en extractos de infusión de frutos de *Schinus areira* de zonas de altura de Jujuy.

Los resultados obtenidos permitirán evaluar el uso de estos frutos como materia prima en

infusiones artesanales formuladas con mezclas de diversas PAM.

Figura 2:Frutos secos de *Schinus areira*L.

3 METODOLOGÍA

3.1 *Obtención y acondicionamiento de la materia prima.*

Se accedió al material vegetal mediante la acción integrada del grupo de investigación PRONOA (Facultad de Ingeniería, UNJu).
Los frutos de *Schinus areira* fueron recolectados de plantas que crecenen la localidad de Tilcara.
Se herborizó parte de las muestras vegetales para ser resguardadas en el herbario del laboratorio PRONOA.
El material vegetal, previamente secado a temperatura ambiente y protegido de la luz solar (Fig.2), fue sometido a molienda a efectos de aumentar la superficie disponible para la extracción de sus metabolitos secundarios.

Figura 3: Infusión de frutos de *Schinus areira*, preparado según la usanza tradicional.

3.2 *Preparación de extracto de infusión*

Se preparó elextracto de infusión de frutos de *S. areira*según las prácticas empleadas en la usanza tradicional (Bazalar Pereda, 2019).A 1 g de material vegetal se incorporó 100 mL de agua a temperatura de ebullición y se dejó en reposo el material vegetal por 5 min a temperatura ambiente.El extracto resultante fue filtrado (Fig.3) y liofilizado. El extracto seco fue guardado en un desecador en la oscuridad hasta análisis posterior.

3.3 *Evaluación dela actividad antirradicalaria*

Se utilizó el ensayo de DPPH• (Viturro et al., 1999) para determinar la actividad antirradicalaria en los extractos de infusión. La actividad capturadora de radicales libres utilizando el radical DPPH$^{\bullet}$fue expresado como EC_{50}en µg/mL (concentración del extracto de muestra que disminuye la concentración de DPPH$^{\bullet}$ al 50% de la inicial).
Se prepararon ocho diluciones sucesivasde la infusión preparada, por triplicado. El porcentaje de inhibición se evaluó por disminución de la absorbancia de DPPH$^{\bullet}$a 515 nm en la mezcla de reacción de 200 µL de DPPH$^{\bullet}$y 25 µL de cada dilución de muestra. Para esta determinación se utilizó un lector de microplacas de Epoch BioTek con microplacas de 96 pocillos (Bazalar Pereda, 2019).

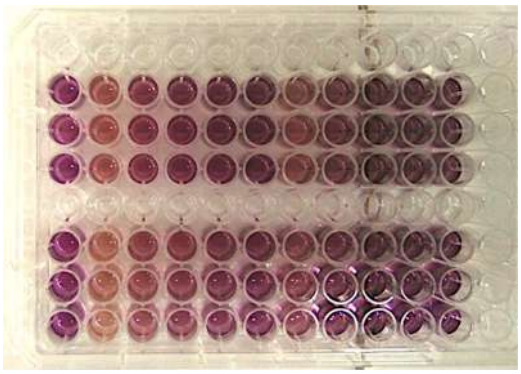


Figura 4: Ensayo de actividad antirradicalaria por método DPPH$^{\bullet}$ en infusiones de frutos de *Schinus areira*.

3.4 *Evaluación del contenido de fenoles totales (FT)*

Se realizó la determinación del contenido de fenoles totales mediante el método colorimétrico usando el reactivo Folin Ciocalteu (FC) (Ainsworth & Gillespie, 2007). El reactivo de FC contiene ácidos fosfotungsténico y fosfomolíbdico como oxidantes, que en la reducción por grupos hidroxifenólicos fácilmente oxidables dan o producen un color azul con un ancho de absorción máxima a 765 nm. Esto se debe a la formación del llamado azul de tungsteno y molibdeno. El reactivo de FC reacciona con un amplio rango de fenoles y, aunque la respuesta puede variar con cada componente, la selección del Ácido Gálico (AG) como patrón estándar de calibración permite usarlo para obtener un dato de fenoles totales.

Se evaluaron adaptaciones del método de Ainsworth & Gillespie (2007). Se utilizó un Lector de Microplacas Epoch BioTek con microplacas de 96 pocillos (Bazalar Pereda, 2019).

A 100 µL de las muestras se le agregó 200 µL del reactivo FC. La mezcla se dejó en reposo a temperatura ambiente durante 3 min y posteriormente se añadió 800 µL de solución de Na_2CO_3 (7,4% p/v). La mezcla final se incubó durante 1 h a temperatura ambiente y en la oscuridad. Se transfirieron alícuotas de 225 µL de la mezcla final a una microplaca de 96 pocillos. La absorbancia se midióa 765 nm y se comparó con una curva estándar de ácido gálico. Los resultados se reportaron como mg EAG (equivalentes de ácido gálico) por g de sólidos solubles.

Se determinaron los sólidos solubles de las infusiones preparadas con el método AOAC 920.151 (método gravimétrico). Se pesaron 3 mL de la infusión preparada y se llevó a estufa a 95°C hasta peso constante. Los resultados (promedio de tres repeticiones) se expresaron en ppm (parte por millón).

Figura 5: Ensayo de FolinCiocalteu en infusiones de frutos de *Schinus areira*.

3.5 *Evaluación de actividad citotóxica*.

Se realizaron ensayos de citotoxicidad para estimar la toxicidad general de la infusión evaluada.

La citotoxicidad se determinó mediante la prueba de letalidad de camarones de *Artemia salina* (Meyer et al., 1982). Se midió el valor de CL_{50} (concentración letal media) con adaptaciones del método de González et al. (2015) y Bazalar Pereda et al. (2018).

Los huevos de *Artemia salina* se incubaron a 25-30 °C expuestas a una fuente de luz a 70 watt por 48 h. Se evaluaron distintas concentraciones de la infusión de muestra (10, 50, 100, 500 y 1000 µg/mL). Dichos extractos fueron preparados en agua de-ionizada. Se incluyeron grupos control con larvas en solvente. El estudio se realizó por triplicado empleando 10 individuos de *A. salina* en cada prueba y quedando en contacto con la muestra en estudio por 24 horas.

Se determinó la concentración letal media (CL_{50}) con el software SPSS utilizando un análisis Probit.

El grado de toxicidad se definió en función del rango en que se encontró el valor de CL_{50} de acuerdo con las categorías siguientes (Nguta et al., 2012):

- Extremadamente tóxico (CL_{50}< 10 µg/mL).
- Muy tóxico (10 µg/mL < CL_{50}<100 µg/mL).
- Moderadamente tóxico (100 µg/mL < CL_{50}).

• Débilmente tóxico (500µg/mL < CL_{50}<1000 µg/mL).
• No tóxico (CL_{50}> 1000 µg/mL).

Figura 6: Ensayo de citotoxicidad con *Artemia salina.*

4 RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 *Solidos solubles*

El contenido de sólidos solubles para la infusiónde frutos de *Schinus areira* fue de 1800 ± 70 ppm.

4.2 *Actividad antirradicalaria.*

Frente a $DPPH^{\bullet}$,el EC_{50} determinado para la muestra de infusión de frutos de *Schinus areira* fue de 158 ± 1 µg/mL. La variación de la actividad antirradicalaria con la concentración del extracto de infusión se presenta en la Fig.7.

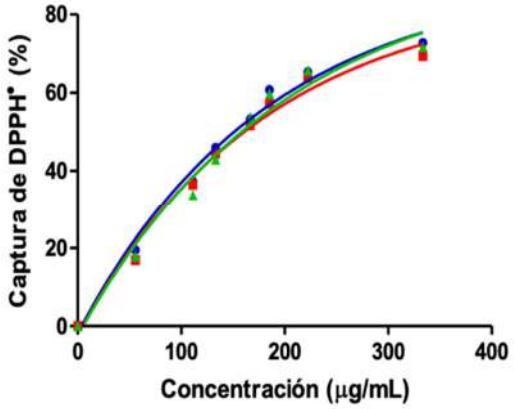


Figura 7. Capacidad capturadora de radicales libres del extracto de infusión de frutos de *Schinus areira* frente a $DPPH^{\bullet}$.

El gráfico representa el comportamiento de tres repeticiones (cada repetición por triplicado).
Al comparar el valor de EC_{50} de la muestra con otras infusiones usadas con propósitos medicinales, la infusión de frutos de *Schinus areira* resulta tener más poder antirradicalario que las infusiones de hojas de *Melissa officinalis*, *Lippia citriodora* y *Cymbopogon citratus*, y flores de *Matricaria chamomilla* y *Tilia cordata*, las cuales presentaron valores de EC_{50} entre 270,33 y 2098,59 µg/mL (Vinha et al., 2013).
Saluzzo et al. (2018) reportaron valores de EC_{50} de 85 a 188 µg/mL en extractos de infusión de la parte aérea de tres especies de *Mulinum* (*M. axilliflorum*, *M. triacanthum* y *M. ulicinum*) que crecen en Jujuy, estando el valor de EC_{50} para frutos de *Schinus areira* dentro de los valores reportados para infusiones de *Mulinum*.
El valor de EC_{50} para la infusión de frutos de *Schinus areira* resulta ser comparable con el valor de EC_{50}(148,87 µg/mL) para la infusión de hojas de *Camellia sinensis* (té verde), infusión reconocida como fuente de compuestos de actividad antioxidante (Vinha et al., 2013).

4.3 *Contenido de fenoles totales.*

El contenido de fenoles totales para la infusión de frutos de *Schinus areira* fue de 40 ± 1 mg EAG/ g SS. Esta infusión presenta menores valores y en otros casos valores comparables de contenido de fenoles totales, que otras infusiones reportadas en la bibliografía para especies como *Artemisia copa*, *Tagetes minuta* y *Clinopodium gilliesii* (Bazalar Pereda, 2019).

4.4 *Actividad citotóxica.*

Dado que los frutos de *Schinus areira*son usados en la medicina popular como infusiones y en preparaciones culinarias, se realizó un estudio preliminar de citotoxicidad del extracto acuoso. El ensayo con *Artemia salina* es una herramienta que permite seleccionar preliminarmente aquellos extractos que requieren bioensayos más elaborados de actividad farmacológica (Celaya, 2017; Meyer et al., 1982).
La concentración letal media para infusiones de frutos de *Schinus areira* fue de 617 ± 30 µg/mL. Este valor indica una débil toxicidad en la infusión de frutos. Considerando el criterio de Nguta et al. (2012), el valor de citotoxicidad

obtenido en la muestra de infusión permite inferir preliminarmente, que la especie investigada no tendría efecto tóxico. Esto podría validarse por el uso tradicional de esta especie ampliamente utilizada para consumo.

5 CONCLUSIÓN

Los valores de capacidad antirradicalaria y contenido de fenoles totales de frutos de *Schinus areira*fueron comparables y en varios casos superiores,a los reportados en otras investigaciones para infusiones de diversas especies vegetales usadas con fines medicinales. Respecto a la actividad citotóxica, el valor de CL_{50} medido para la infusión indica muy leve actividad citotóxica, presentando a los frutos de esta especie como un potencial componente para la formulación de infusiones artesanales, con características novedosas de notas pungentes. Los resultados de esta investigación alientan a continuar con los estudios iniciados y proseguir con la formulación de una infusión artesanal de alto valor agregado.

6 AGRADECIMIENTOS

Agradecer a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jujuy por la prestación de sus instalaciones y al proyecto SECTER D/0161.

7 REFERENCIAS

Ainsworth, E. A., Gillespie, K. M. (2007). Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin–Ciocalteu reagent. *Nature protocols*, 2(4), 875-877.

Barboza, G. E., Cantero, J. J., Núñez, C., Pacciaroni,A., Espinar, L. A. (2009). Medicinal plants: A general review and aphytochemical and ethnopharmacological screening of the native Argentine Flora. *Kurtziana*, 34, 1-2.

Bazalar Pereda, M. S., Nazareno, M., Viturro, C. I. (2016). Actividad Antirradicalaria de Extractos Polares de Especies Andinas: *Tagetes minuta, Clinopodium gilliesii, Schinus areira* y *Artemisia copa*. *Revista Dominguezia*, 32(2), 22.

Bazalar Pereda, M. S., Nazareno, M., Viturro, C. I. (2018). Evaluación de la viabilidad de *Artemia salina* en extractos polares de especies andinas de Jujuy, Argentina.*Sociedad Latinoamericana de Plantas Medicinales, Medicinal Plant Communications,* 2(3), 89-154(2019).

Bazalar Pereda, M. S., Nazareno, M., Viturro, C. I. (2019). Actividad antirradicalaria y contenido fenólico de infusiones de especies andinas que crecen en Jujuy, Argentina.*Sociedad Latinoamericana de Plantas Medicinales, MedicinalPlant Communications,* 2(3), 89-154(2019).

Bazalar Pereda, M. S. (2019). *Alimentos a base de aguaymanto (Physalis peruviana L.) y su funcionalización con bioactivos vegetales*. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Jujuy, Argentina.

Cabana, R., Silva, L. R., Valentão, P., Viturro, C. I., Andrade, P. B. (2013). Effect of different extraction methodologies on therecovery of bioactive metabolites from *Satureja parvifolia* (Phil.) Epling (*Lamiaceae*). *Industrial Crops and Products*, 48, 49-56.

Cañigueral, S., Dellacassa, E., Bandoni, A. L. (2003). Plantas Medicinales y Fitoterapia: ¿indicadores de dependencia o factores de desarrollo? *Actafarmacéutica bonaerense*, 22(3), 265-279.

Celaya, L. S., Alabrudzińska, M. H., González, M. A., Molina, A. C., Viturro, C. I., Moreno, S. (2013). *Composición química y actividad antibacteriana de aceites esenciales y extractos etanólicos de hojas y frutos de Schinus areira que crece en Jujuy*. XIX Simposio Nacional de Química Orgánica, Sociedad Argentina de Investigación en Química Orgánica, Mar del Plata, Argentina.

Celaya, L. S., Viturro, C. I., Silva, L. R., Moreno, S. (2016). Natural antioxidants isolated from *Schinus areira* leaves by ultrasound-assisted extraction. *International Journal of Food Studies,* 5(2), 167-179.

Celaya L. S. (2017). *Metabolitos bioactivos de plantas aromáticas y medicinales y su aplicación como conservantes en alimentos.* Tesis doctoral. Universidad Nacional de Jujuy, Argentina.

Celaya, L., Viturro, C., Silva, L. R. (2019). *Acantholippia salsoloides*: Phytochemical Composition and Biological Potential of aThujonic Population. *Natural Product Communications*, 14(6).

González, M. A., Celaya, L. S., Buhler, D., Molina, A. C., Viturro, C. I. (2015). Actividad frente a *Artemia salina* de extractos polares de Especies Aromáticas de zonas de Altura de Jujuy. *LILLOA*, 52, 35–37.

Hilgert, N. I. (2001). Plants used in home medicine in the Zenta River basin, Northwest Argentina. *Journal of Ethnopharmacology*, 76: 11-34.

Heredia, J. B. (2021). *La importancia del consumo y preparación de un té (infusión herbal).*Ciad Culiacán. Recuperado el 30 de julio de 2022 de: https://ciad.edu.mx/la-importancia-del-consumo-y-preparacion-de-un-te-infusion-herbal.

Meyer, B. N., Ferrigni, N. R., Putnam, J. E., Jacobsen, L. B., Mc Laughling, J. L. (1982). Brine shrimp: A convenient general bioassay for active plant constituyents. *Planta Medica*, *45*(05), 31-34.

Molina Salinas, G. M., Pérez López, A., Becerril Montes, P., Salazar Aranda, R., Said Fernández, S., de Torres, N. W. (2007). Evaluación de la flora del norte de México parala actividad antimicrobiana y antituberculosa *in vitro*. *Revista de Etnofarmacología*, 109(3), 435-441.

Murray, P. A., Murray, G. M. (2017). Phytochemistry, traditional uses and bioactivity of the medicinal plant *Schinus areira* L. (Anacardiaceae): a review. *The Natural Products Journal*, 7(2), 97-103.

Nguta, J., Mbaria, J., Gakuya, D., Gathumbi, P., Kabasa, J., Kiama, S. (2012). Evaluation of Acute Toxicity of Crude Plant Extracts from Kenyan Biodiversity using Brine Shrimp, Artemia salina L. (Artemiidae). *The Open Conference Proceedings Journal*, 3(1), 30-34.

Rhouma, A., Ben Daoud, H., Ghanmi, S., Ben Salah, H., Romdhane, M., Demak, M. (2009). Antimicrobial activities of leaf extractsof *Pistacia* and *Schinus* species against some plant pathogenic fungi and bacteria. *Journal of Plant Pathology*, 91,339-345.

Saluzzo, L., Gallardo, F. S., Viturro, C. I. (2018). Estudio de actividad antirradicalaria de mezclas de extractos polares de *Mulinum* sp y *Clinopodium gilliesii* del NOA. *Revista Dominguezia,* 34, 83-84.

Vinha, A. F., Barreira, S. V., Castro, A., Machado, M. (2013). Comparison between the phytochemical and antioxidant properties of plants used in plant infusions for medicinal purposes. *Journal of Agricultural Science*, 5(11), 11-19.

Viturro, C., Molina, A., Schmeda Hirschmann, G. (1999). Free radical scavengers from *Mutisia friesiana* (Asteraceae) and *Sanicula graveolens* (Apiaceae). *Phytotherapy Research*, 13(5), 422-424.

Viturro, C. I. (2002). *Estudio de metabolitos secundarios volátiles y no volátiles de Mutisia friesiana.* Tesis doctoral. Universidad Nacional de Salta, Argentina.

Viturro, C. I., de la Fuente, J. R., Maier, M. S. (2004). 5-Methylcoumaranones from *Mutisia friesiana* and Their Bioactivity.*Journal Natural Products*, 67(5), 778-782.

Viturro, C., Valdiviezo, A., Villa, W. (2007). Compuestos volátiles y actividad antioxidante de extractos acuosos de *Aphyllocladus spartioides*deJujuy,Argentina.*Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas,*6(5),286-287.

Viturro, C.,Bandoni, A.,Dellacassa, E.,Serafini, L.A.,Elder, H.(2010).Capítulo10:Problemática*Schinus*enLatinoamérica,pp205-280. Proyecto CYTED IV.20. Editado por Dellacassa. Editorial Universitaria PUCRS.

Incorporación de leche de cabra en polvo bio-enriquecida con fructanos en la elaboración de yogur

Cruz, Sergio[1]; Burgos, Laura[1];Maldonado, Silvina[1]

(1) Laboratorio Ingeniería para el Desarrollo de la Agroindustria Regional (IDeAR), Centro de Investigación en Tecnología de los Alimentos (CITA) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.
smaldonado@unju.edu.ar

RESUMEN

Se trabajó con leche de cabra descremada en polvo a la que se incorporaron Fructooligosacáridos (FOS) en concentraciones crecientes de 0%, 1%, 2%, 4% y 8% p/v, con el fin de analizar el efecto de su utilización en la elaboración de yogur. Se reconstituyeron en agua las mezclas lácteas hasta un 12% p/v de sólidos lácteos, regulando la proporción de leche de cabra bioenriquecida. Se adicionó endulzante comercial hipocalórico al 0,6% v/v y gelificante (gelatina al 0,4% p/v). Se inocularon las muestras con *Lactobacillus delbrueckiisubsp. bulgaricus y Streptococcusthermophilus*, se fermentaron hasta alcanzar un pH de 4,5 y se almacenaron a 7ºC. Después de 1 día se determinaron: composición, parámetros de textura: firmeza, consistencia y color (L*, a*, b*); se midió acidez, sinéresis y se realizó análisis sensorial. Todas las muestras presentaron alta luminosidad (L*), tendieron al color verde (-a*) y al amarillo (+b*). La menor sinéresis se alcanzó con 4% FOS. Las concentraciones de FOS en todas las muestras fueron menores a los límites máximos diarios establecidos. Las mejores características texturales y sensoriales se alcanzaron cuando se incorporó 2% FOS, siendo ésta la muestra con mayor aceptación.

ABSTRACT

Powdered skimmed goat's milk was used, to which Fructooligosaccharides (FOS) were incorporated in increasing concentrations of 0%, 1%, 2%, 4% and 8% w/v, in order to analyze the effect of its utilization in making yogurt. Dairy mixes were reconstituted in water to 12% w/v milk solids, regulating the proportion of biofortified goat milk. Commercial hypocaloric sweetener at 0.6% v/v and gelling agent (0.4% w/v gelatin) were added. Samples were inoculated with *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus*, were fermented to pH 4.5 and stored at 7°C. After 1 day of refrigerated storage, the following were determined: composition, texture parameters: firmness and consistency, and color (L, a, b); acidity and syneresis were measured and sensory analysis was performed. All the samples presented high luminosity (L), tended to green (-a) and yellow (+b). The lowest syneresis was achieved with 4% FOS. The FOS concentrations in the final samples were lower than the established maximum daily limits, in all cases. The best textural characteristics and the best sensory performance were reached when 2% FOS was incorporated, this being the sample with the highest acceptance.

Palabras claves: leche en polvo - yogur - FOS - textura

Keywords: powdered milk - yogurt - FOS - texture

1. INTRODUCCIÓN

La leche de cabra por su composición y propiedades menos alergénicas está siendo utilizada en la elaboración de alimentos industrializados para lactantes, ancianos y personas con necesidades médicas particulares (García et al., 2014, Selvaggi et al., 2014). Posee

una composición similar a la leche de vaca, aunque carece de betacaroteno y aglutinina; tiene glóbulos de grasa más pequeños y proporciones diferentes de sus caseínas, lo que mejora su digestibilidad (Costa et al., 2014) y se asocia con su menor alergenicidad (Selvaggi et al., 2014). La más reciente aplicación de la leche de cabra en polvo es en fórmulas para infantes (Prosser, 2021).

El producto lácteo con mayor consumo en el mundo es el yogur. Francia es el principal consumidor, con un promedio de 45 litros por año per cápita; en Argentina el consumo fue de 6 litros per cápita en 2018(Bustos et al., 2019). Se observan proyecciones de crecimiento a futuro debido a una oferta cada vez más amplia de productos diferenciados y por una tendencia a la alimentación saludable (Bustos et al., 2019). Los yogures se han enriquecido con varios ingredientes fisiológicamente activos que brindan beneficios para la salud, más allá de la nutrición básica. Estas incorporaciones se realizan, en muchos casos, con el objetivo principal de desarrollar nuevos productos lácteos funcionales. Es así que se ha estudiado el agregado de ácidos grasos omega-3 (McCowen et al., 2010), fitoesteroles (Hansel et al., 2007), antioxidantes. También se ha estudiado el agregado de algunos extractos vegetales como el de té verde y negro (Jaziri et al., 2009), extractos vegetales acuosos (Cossu et al., 2009,Karaaslan et al., 2011) y fibras (Sendra et al., 2008) como ingredientes alimentarios. Khurana y Kanawjia (2007) estudiaron la incorporación de carbohidratos no digeribles, como compuestos prebióticos, para estimular el crecimiento de bacterias beneficiosas. Los fructo y galactooligosacáridos están disponibles comercialmente (Silanikove et al., 2010) y se pueden agregar a las formulaciones como componentes bioactivos. Los fructooligosacáridos, también llamados fructanos o FOS, tienen potenciales efectos positivos ya que no son absorbidos por el sistema gastrointestinal humano por lo que poseen efecto de fibra dietaria, tienen reducido valor calórico, alta solubilidad en agua, son considerados prebióticos y se han reportado efectos favorables en la asimilación del calcio (Costa et al., 2020). En este sentido, la leche de cabra en polvo puede bio-enriquecerse con la incorporación de fructanos y ser usada como materia prima en la elaboración de yogur. Además del esperado efecto prebiótico, los FOS aportarán dulzor a la matriz, disminuyendo así la incorporación de endulzantes.Teniendo en cuenta que la adición de nuevos ingredientes a la formulación induce cambios físicos y químicos en la estructura original del gel, es importante conocer las modificaciones que cualquier variación en la formulación, pueda ocasionar. Por ello el objetivo de este trabajo fue analizar los efectos de utilizar leche de cabra descremada en polvo y bioenriquecida con fructanos, en la elaboración de yogur sobre sus propiedades físicas, texturales y sensoriales.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó leche de cabra descremada en polvo comercial a la que se bio-enriqueció con fructooligosacáridos (Beneo P95) en concentraciones crecientes de 1%, 2%, 4% y 8% p/v, considerando el volumen de reconstitución de la leche en polvo. Se tomó como control la muestra sin fructanos. Estas leches se reconstituyeron en agua, ajustando a un 12% la concentración de sólidos lácteos a través de la variación de la proporción de leche de cabra en polvo bioenriquecida en un volumen fijo de agua. Se buscó obtener muestras con textura firme.

2.1 *Formulación de yogur de leche de cabra bio-enriquecido con FOS*

Se siguieron las etapas de proceso descriptas por Tamine y Robinson (1991), adaptadas a las necesidades de este estudio. Se incorporó endulzante hipocalórico al 0,6% v/v. Se adicionó gelificante (gelatina, 0,4% p/v) y se pasteurizó a 90ºC durante 5 minutos. Se enfrió la mezcla láctea a 43°C y se incorporó el cultivo lácteo. Se incorporó cultivo comercial liofilizado compuesto de cepas de *Lactobacillus del brueckiisubsp. bulgaricus yStreptococcusthermophilus* (YF-L811 Yo-Flex Chr. Hansen). Se llenaron envases individuales de material inerte y se incubaron en estufa a 43 ± 2°C, el tiempo suficiente para alcanzar un pH 4,5. Se disminuyó rápidamente la temperatura en baño de agua refrigerada y finalmente se almacenaron las muestras a 4 ± 1°C. La muestra control se obtuvo con el mismo procedimiento, sin el agregado de FOS. Las muestras para análisis se tomaron al día siguiente de la elaboración

2.2 *Análisis de las características fisicoquímicas del yogur*

Acidez titulable: Se determinó por el método de Oladipo etal. (2014). El porcentaje de acidez titulable se determinó valorando la mezcla yogur:agua (1:9) con NaOH 0,1 N y se calculó con la ecuación 1.

$$Acidez\ Titulable = \frac{f\ x\ V_{NaOH}\ x\ N\ \ x\ 0{,}009}{W} x\ 100 \quad (1)$$

Donde:f: factor de dilución. V_{NaOH}: es el volumen de NaOH utilizado para neutralizar el ácido láctico; N: normalidad de NaOH; W: es el peso de la muestra de yogur para la titulación.

Color: Se determinó a través de un Colorímetro modelo MSEZ 1117 marca HunterLab (USA), usando las coordenadas L* a* y b* en el sistema CIELAB.

Sinéresis: Se determinó sobre la base de la técnica de Guinee et al. (1995). Se pesó 10 g de muestra a 12°C y se centrifugo a 5000 rpm durante 20 minutos. El peso del sobrenadante obtenido se empleó para calcular el porcentaje de sinéresis mediante la ecuación 2:

$$Sineresis = \frac{peso\ del\ sobrenadante}{peso\ de\ muestra} \times 100 \quad (2)$$

2.3 *Textura*

La textura de los yogures se midió utilizando un analizador de textura TA-XT plus, equipado con una celda de carga de 5 kg. Las muestras se analizaron en su envase, inmediatamente después de retirarlas del almacenamiento (4°C). Las curvas fuerza-tiempo se analizaron utilizando Texture Expert Exceed y los parámetros de textura expresados como: firmeza, consistencia, cohesividad e índice de viscosidad.

2.4 *Análisis sensorial*

Se realizó una prueba de aceptación de las muestras de yogur, utilizando escalas hedónicas de nueve puntos. A cada uno de los calificativos empleados en la escala, se le asignó un valor de 1 a 9 (Pastor et al., 2008). Los atributos a evaluar fueron: aspecto visual, olor, sabor, textura, persistencia del sabor y aceptación global. Para la evaluación, se utilizaron 30 consumidores habituales de productos caprinos. Cada muestra se presentó a cada evaluador en forma aleatoria

2.5 *Determinación del contenido de fructanos*

Se realizó según el método 999.03 de AOAC.

2.6 *Composición química*

Se realizó según métodos AOAC (16th Ed., 1995), Proteínas totales: por el método de Kjeldahl, método A.O.A.C. 955.04 c. Grasas: por Hidrólisis Ácida Mét. AOAC 922.06. Cenizas: método A.O.A.C. 968.08. Carbohidratos: por diferencia (Blanco et al., 2000). Humedad: se efectuó mediante el método AOAC 935.29.

2.7 *Análisis estadístico*

Los datos obtenidos para cada estudio planteado se examinaron utilizando la prueba de Rangos Múltiples de Tukey, con un nivel de confianza del 95%. Se realizó un análisis de varianza utilizando el software StatgraphicsCenturion XV.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se muestran las características fisicoquímicas analizadas en las muestras de yogur.

Los valores de acidez no presentaron diferencias significativas entre las muestras y el control. La acidez de la muestra control (0,97±0,02%) fue similar a la que informaron Hussien et al. (2022) para yogures de leche de vaca recién elaborados. Los yogures con FOS presentaron valores que coinciden con los presentados por Parra (2014), quien estudió el agregado de concentrados de yacón en yogur de leche de vaca, atribuyendo la alta acidez a los FOS, que resultan ser un sustrato más asimilable que la lactosa para las bacterias ácido lácticas presentes en el yogur.

La incorporación de concentraciones crecientes de FOS, hasta el 4%, disminuye la sinéresis. Un aumento posterior a 8% produce un aumento significativo. La disminución inicial puede deberse a que los FOS, en concentraciones bajas, no sólo actúan como sustrato sino que forman uniones con el agua interfiriendo positivamente en la conformación de la red tridimensional del gel, provocando así una disminución de la sinéresis (Kariyawasa et al., 2021). El incremento posterior de la sinéresis se puede atribuir a que al aumentar la proporción de moléculas de oligosacárido, éste ejerce competencia entre las uniones proteína-agua y como resultado se

obtiene un gel más débil. Los valores observados de sinéresis son menores a los obtenidos por Ahmed (2021) (52%),en yogures firmes de leche de vaca en polvo sin el agregado de ningún aditivo o ingrediente. Esto estaría estrechamente relacionado a la proporción de gelificante incorporado, la que no fue suficiente para lograr valores menores al 10%, informados por otros autores (Joon, 2017; Parra, 2014;).

En cuanto al color, se observa que de acuerdo a los parámetros L*, a* y b*, todos los yogures presentan alta luminosidad, tienden al verde y al amarillo. Los yogures Control, 1% y 2% FOS presentan un color más luminoso que las muestras con una concentración de FOS más alta (4% y 8%). El parámetro a* es mayor en el control y disminuye para el resto de las concentraciones, las que presentan mayor tendencia al color verde.

Tabla 1. Características fisicoquímicas de las muestras de yogur.

Muestra	Acidez	Sinéresis	Color		
			*L**	*a**	*b**
Control	0,97±0,02$^{(a)}$	35,50±0,90$^{(c)}$	88,40±0,50$^{(b)}$	-3,11 ± 0,01$^{(b)}$	11,39±0,04$^{(a)}$
1%	0,96±0,02$^{(a)}$	37,90±0,60$^{(d)}$	88,00±0,10$^{(b)}$	-3,91±0,01$^{(a)}$	11,90±0,20$^{(b)}$
2%	0,97±0,01$^{(a)}$	31,10±0,50$^{(b)}$	88,10±0,30$^{(b)}$	-3,90±0,02$^{(a)}$	12,10±0,10$^{(b)}$
4%	0,97±0,01$^{(a)}$	25,80±0,60$^{(a)}$	87,50±0,30$^{(a)}$	-3,89±0,03$^{(a)}$	14,00±0,30$^{(c)}$
8%	0,97±0,01$^{(a)}$	53,10±0,70$^{(e)}$	87,10±0,30$^{(a)}$	-3,90±0,10$^{(a)}$	13,80±0,40$^{(c)}$

Valores promedio en la misma columna con letras distintas son significativamente diferentes (P<0,05).

Tabla 2. Composición química y contenido de fructooligosacáridos (FOS) de las muestras de yogur (g/100g).

Muestra	Humedad	Proteína	Grasa	Cenizas	FOS
Control	88,10±0,20$^{(e)}$	5,58±0,06$^{(d)}$	2,87±0,02$^{(e)}$	1,32±0,01 $^{(d)}$	-
1%	87,90±0,10$^{(d)}$	5,43±0,04$^{(cd)}$	2,42±0,03$^{(d)}$	1,24±0,05$^{(c)}$	0,75 ±0,00$^{(a)}$
2%	87,15±0,07 $^{(c)}$	5,26±0,01$^{(c)}$	1,88±0,03$^{(c)}$	1,17±0,00 $^{(b)}$	1,04 ±0,00$^{(b)}$
4%	85,75±0,03 $^{(b)}$	5,19±0,01$^{(b)}$	1,45±0,04$^{(b)}$	1,12±0,01$^{(b)}$	1,98 ±0,00$^{(c)}$
8%	83,80±0,10 $^{(a)}$	5,13±0,04$^{(a)}$	1,14±0,04$^{(a)}$	1,03±0,01$^{(a)}$	3,13 ±0,01$^{(d)}$

Valores promedio en la misma columna con letras distintas son significativamente diferentes (P<0,05).

El yogur control presenta la menor tendencia al amarillo. Esta tendencia aumenta a medida que se incrementa la concentración de FOS.

En la Tabla 2 se muestra la composición química de las muestras de yogur. La concentración de grasa se encuentra dentro de la clasificación de yogur parcialmente descremado según el Código Alimentario Argentino que exige como valor máximo de grasa sea de 2,9 gr/100 gr y mínimo de 0,6 gr/100 gr (CAA, 2023).Los contenidos de humedad, proteína y cenizas de las muestras disminuyeron a medida que aumentó el contenido de FOS en la leche en polvo. El contenido de FOS de los yogures está dentro del límite máximo recomendado (0,14 g FOS/kg.día o aproximadamente 10 g FOS/día Genta et al.

(2009) considerando además un consumo habitual promedio para adulto de 1 porción diaria de yogur de 200 mL.

En la Figura 1 se encuentra el perfil sensorial de los yogures. Se puede observar que las formulaciones con 2% y 8% de FOS son similares al control, en los atributos de olor, textura y persistencia de sabor, mientras que para el resto de los atributos (aspecto visual y agrado general) la formulación 2% obtuvo mayor puntaje que el control. En cuanto a la intención de compra (Figura 2) la formulación con 2% FOS tiene una aceptabilidad del 66,7%, mayor al resto de las formulaciones, inclusive al control (63%).

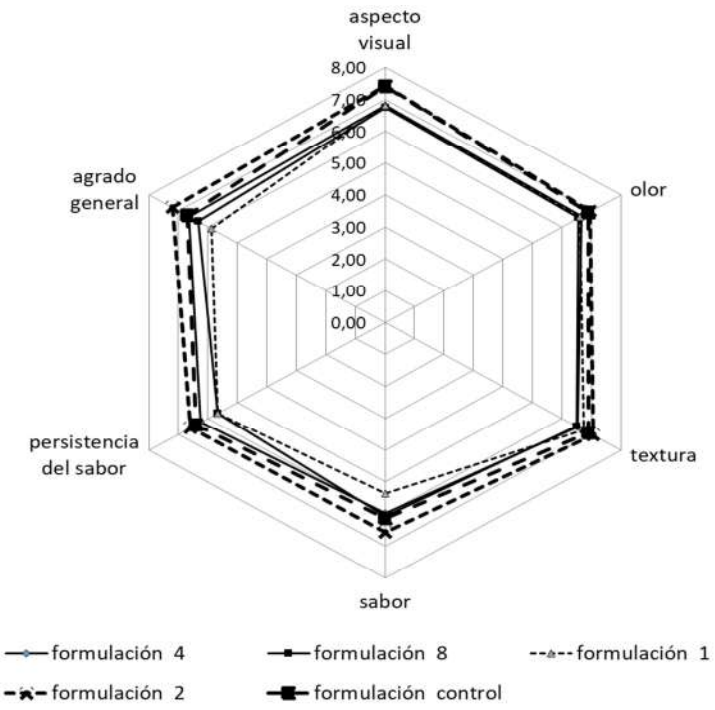


Figura 1. Perfil sensorial de los yogures formulados

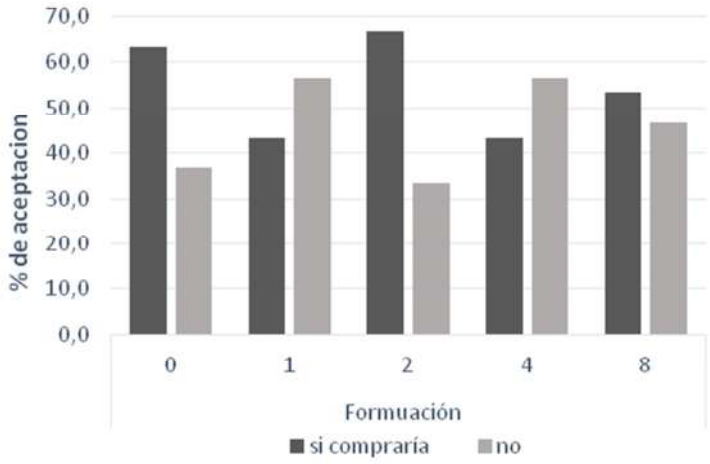


Figura 2. Intención de compra de los yogures formulados

En la Figura 3 se observa que tanto la firmeza como la consistencia presentan un máximo para2% FOS. Las muestras con hasta un 4% FOS muestran valores de firmeza y consistencia mayores que la muestra control.

Este efecto es similar al que ocurre con la sinéresis, ya que a bajas concentraciones los FOS interaccionan positivamente en la conformación del gel.

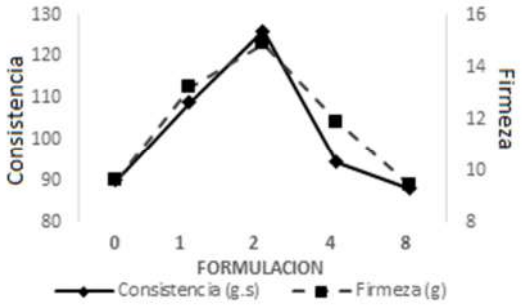


Figura 3. Firmeza (g) y Consistencia (g.s) en función de las muestras

4 CONCLUSIONES

Las formulaciones de yogur de leche de cabra bioenriquecida con hasta un 8% (p/v) de FOS se encuentran por debajo de la ingesta máxima recomendada para fructanos.

El agregado de hasta un 4% FOS tuvo efecto positivo sobre la textura de las muestras, en relación al control (0%FOS). Se encontró un valor máximo en la firmeza y la consistencia de los yogures, cuando se trabajó con 2%FOS.

El análisis sensorial arrojó que la formulación con 2%FOS alcanzó similares características de olor, textura y persistencia de sabor que la control y mayor puntuación para aspecto visual y agrado general.

La formulación con 2%FOS presentó el mejor comportamiento textural y sensorial.

5 REFERENCIAS

A.O.A.C. (1995). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist.*

Ahmed, I. A. M., Alqah, H. A., Saleh, A., Al-Juhaimi, F. Y., Babiker, E. E., Ghafoor, K., ... &Fickak, A. (2021). *Physicochemical quality attributes and antioxidant properties of set-type yogurt fortified with argel (Solenostemma argel Hayne) leaf extract. LWT, 137*, 110389.

Argentino, C. A. (2023). *Capítulo VIII: Alimentos lácteos. De la canal y asociados (Ed.). Buenos Aires.*

Bustos, A. Y., Torres Quinteros, L., Gerez, C. L., & Iturriaga, L. B. (2019). *Yogur, alimento de base láctea ancestral de gran vigencia actual. Principales aspectos nutricionales, funcionales y tecnológicos*

Cossu, M., Juliano, C., Pisu, R., &Alamanni, M. C. (2009). *Effects of enrichment with polyphenolic extracts from Sardinian plants on physico-chemical, antioxidant and microbiological properties of yogurt. Italian Journalof Food Science, 21(4).*

Costa, W. K. A. D., Souza, E. L. D., Beltrao-Filho, E. M., Vasconcelos, G. K. V., Santi-Gadelha, T., de Almeida Gadelha, C. A., ... & Magnani, M. (2014). *Comparative protein composition analysis of goat milk produced by the Alpine and Saanen breeds in northeastern Brazil and related antibacterial activities. PloSone, 9(3), e93361.*

Costa, G., Vasconcelos, Q., Abreu, G., Albuquerque, A., Vilarejo, J., & Aragão, G. (2020). *Changes in nutrient absorption in children and adolescents caused by fructans, especially fructooligosaccharides and inulin. Archives de Pédiatrie, 27(3), 166-169.*

García, V., Rovira, S., Boutoial, K., & López, M. B. (2014). *Improvements in goat milk quality: A review. Small Ruminant Research, 121(1), 51-57.*

Genta, S., Cabrera, W., Habib, N., Pons, J., Carillo, I. M., Grau, A., & Sánchez, S. (2009). *Yacon syrup: beneficial effects on obesity and insulin resistance in humans. Clinical nutrition, 28(2), 182-187.*

Guinee, T. P., Pudja, P. D., Reville, W. J., Harrington, D., Mulholland, E. O., Cotter, M., & Cogan, T. M. (1995). *Composition, microstructure and maturation of semi-hard cheeses from high protein ultrafiltered milk retentates with different levels of denatured whey protein. International Dairy Journal, 5(6), 543-568.*

Hansel, B., Nicolle, C., Lalanne, F., Tondu, F., Lassel, T., Donazzolo, Y., ... & Bruckert, E. (2007). *Effect of low-fat, fermented milk enriched with plant sterols on serum lipid profile and oxidative stress in moderate*

hypercholesterolemia. The American journal of clinical nutrition, 86(3), 790-796.

Hussien, H., Abd-Rabou, H. S., & Saad, M. A. (2022). The impact of incorporating Lactobacillus acidophilus bacteriocin with inulin and FOS on yogurt quality. *Scientific Reports*, *12*(1), 13401.

Jaziri, I., Slama, M. B., Mhadhbi, H., Urdaci, M. C., & Hamdi, M. (2009). *Effect of green and black teas (Camellia sinensis L.) on the characteristic microflora of yogurt during fermentation and refrigerated storage. Food Chemistry, 112(3), 614-620.*

Joon, R., Mishra, S. K., Brar, G. S., Singh, P. K., & Panwar, H. (2017). *Instrumental texture and syneresis analysis of yoghurt prepared from goat and cow milk. The Pharma Innovation, 6(7), Part G), 971.*

Kariyawasam, K. M. G. M. M., Lee, N. K., & Paik, H. D. (2021). *Synbiotic yoghurt supplemented with novel probiotic Lactobacillus brevis KU200019 and fructooligosaccharides. Food Bioscience, 39, 100835.inulin and FOS on yogurt quality. Scientific Reports, 12(1), 13401.*

Khurana, H. K., &Kanawjia, S. K. (2007). *Recent trends in development of fermented milks. Current Nutrition & Food Science, 3(1), 91-108.*

Karaaslan, M., Ozden, M., Vardin, H., & Turkoglu, H. (2011). *Phenolic fortification of yogurt using grape and callus extracts. LWT-Food Science and Technology, 44(4), 1065-1072.*

McCowen, K. C., Ling, P. R., Decker, E., Djordjevic, D., Roberts, R. F., Coupland, J. N., &Bistrian, B. R. (2010*). A simple method of supplementation of omega□3 polyunsaturated fatty acids: use of fortified yogurt in healthy volunteers. Nutrition in clinicalpractice, 25(6), 641-645.*

Parra, R. (2014*). Efecto de la adición de yacon (smallanthussonchifolius) en las características fisicoquímicas, microbiológicas, proximales y sensoriales de yogur durante el almacenamiento bajo refrigeración. @ limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria, 12(1).*

Pastor, L. F. J., Mellado, B. M., Ramirez, A. A., & Dolores, R. E. (2008). *Sensory evaluation of goat milk cheese type boursin natural and ash flavor. RevistaElectrónica de Veterinaria, 9(8), 1695-7504.*

Prosser, C. G. (2021). *Compositional and functional characteristics of goat milk and relevance as a base for infant formula. Journal of Food Science, 86(2), 257-265.*

Selvaggi, M., Laudadio, V., Dario, C., &Tufarelli, V. (2014). *Major proteins in goat milk: an updated overview on genetic variability. Molecular biologyreports, 41(2), 1035-1048.*

Sendra, E., Barberá, E. S., López, J. F., Navarro, C., &Alvarez, J. P. *Enriquecimiento de productos lácteos con fibra: influencia sobre la microbiota iniciadora. Funcionalidad de Funcionalidad de Componentes Lácteos, 141.*

Silanikove, N., G. Leitner, U. Merin, and C. G. Prosser. 2010. *Recent advances in exploiting goat's milk: Quality, safety and production aspects. Small Rumin. Res. 89:110–124*

Tamine, A., & Robinson, R. K. (1991). *Yogurt. Ciencia y tecnología. Editorial Acribia, Zaragoza.*

Oladipo, I. C., Atolagbe, O. O., &Adetiba, T. M. (2014). *Nutritional evaluation and microbiological analysis of yoghurt produced from full cream milk, tiger-nut milk, skimmed milk and fresh cow milk. Pensee, 76(4),* 30-38.

Cambios en las propiedades tecno funcionales de la harina integral de maíz durante la extrusión alcalina en variedades con diferente dureza de endospermo.

Domínguez, Natalia E. [(1)];Giménez, María A. [(1)];Segundo, Cristina. [(1)];Gremasqui, Ileana D. L. A. [(1)];Lobo, Manuel O. [(1)]; Samman, N.C.[(1)]

(1) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.
malejandragimenez@fi.unju.edu.ar, natalia27dominguez@gmail.com

RESUMEN

Se utilizaron dos razas de maíz de distintos tipos de endospermo con el fin de analizar el efecto de la extrusión alcalina sobre las propiedades fisicoquímicas de lasharinas y las propiedades texturales de sus masas. Las harinas nativas de ambos maíces se acondicionaron a humedades de 35% (p/p) fueron extrudidas en un extrusor monotornillo a 80 □, Para la extrusión alcalina se adicionó 0,25 g de $Ca(OH)_2$ /100 g de harina. El proceso térmico alcalino afectó significativamente las propiedades tecno funcionales de las harinas, sobre todo en las provenientes del maíz de endospermo blando quienes presentaron los menores valores de IAA y mayor ISA. Estas harinas obtenidas en las condiciones de extrusión estudiadas presentaron un porcentaje de gelatinización menor al 50% alcanzando un grado de cocción intermedio, lo que permitió obtener harinas capaces de formar masas sin gluten que presentaron valores medios de dureza, cohesividad y adhesividad.

ABSTRACT

Two maize races with different types of endosperms were used in order to analyze the effect of alkaline extrusion on the physicochemical properties of the flour and the textural properties of their doughs. The native flours of both corns were conditioned at moisture content of 35%(w/w) were extruded in a single-screw extruder at 80 □. For the alkaline extrusion, 0.25 g of $Ca(OH)_2$/100 g of flour was added. The alkaline thermal process significantly affected the techno functional properties of the flours, especially those from soft endosperm corn, which presented the lowest IAA values and the highest ISA. These flours, obtained under the extrusion conditions studied, presented a gelatinization percentage of less than 50%, reaching an intermediate degree of cooking. This allowed obtaining flours capable of forming gluten-free doughs that presented average values of hardness, cohesiveness, and adhesiveness.

Palabras claves: (tratamiento termico – tratamiento alcalino- maíces- propiedades funcionales)
Keywords: (heat treatment - alkaline treatment - corn - functional properties)

1. INTRODUCCIÓN

Los maíces nativos de la Quebrada de Humahuaca y los Valles andinos de Jujuy son una de las principales especies cultivadas de importancia socioeconómica para los pobladores locales (Ramos et al., 2013).Las propiedades tecno-funcionales diferenciadas que presentan las diferentes razas permite la aplicación de procesos tecnológicos obteniendo harinas que puedan ser aplicadas para la elaboración de productos libre de gluten (Gimenezet. al., 2022). La aplicación de diversos tratamientos que modifiquen las propiedades tecno funcionales de las harinas provenientes de cultivos andinos se ha vuelto un tema de interés, principalmente porque carecen de gluten (Domínguez et al., 2022).

La tecnología de extrusión-cocción es ampliamente usada en la obtención de harinas pregelatinizadas. Es una tecnología muy versátil que provoca cambios estructurales en el almidón y las proteínas de las materias primas. Con este proceso se obtiene una masa constituida por los polímeros del almidón (amilosa y amilopectina), mezclados con gránulos de almidón parcialmente gelatinizados, gránulos intactos, partes de endospermo y lípidos (Contreras-Jiménez, et al., 2016). En busca de nuevas alternativas tecnológicas para la obtención de harinas pregelatinizadas con propiedades viscoelásticas se ha estudiado la incorporación de agentes alcalinos en el proceso de extrusión. El tratamiento de las materias primas almidonosas con reactivos alcalinos, como sales de sodio y calcio, es un método muy usado en países asiáticos y de América Latina (por ejemplo, México) para obtener principalmente masas para tortillas con mejor elasticidad y firmeza (Guo, etal., 2017; Contreras-Jiménez, et al., 2016). La adición de $Ca(OH)_2$ incrementa el aporte de calcio y permite la interacción del ion divalente con el almidón, impartiendo propiedades funcionales deseadas a las harinas.

Debido a su gran diversidad genética, los maíces no tienen la misma composición química y también presentan diferencias en el tipo de endospermo. Estos dos factores contribuyen a sus propiedades y uso final. La dureza del endospermo del maíz es una característica que afecta no sólo a las condiciones del proceso de molienda, sino también a las de cocción (Rooney et al., 1987; Robutti et. al., 2005). Si bien existen trabajos de investigación acerca del uso de la extrusión alcalina sobre maíces principalmente de Centro América (Contreras-Jiménez, et al., 2016; Bello-Pérez, et al., 2002; Gutiérrez-Dorado, et al., 2008; Vinces-Guillen, et. al., 2020),su aplicación en razas de maíces nativos de la provincia de Jujuy es prácticamente nula. La extrusión alcalina podría ser aplicada para obtener harinas que pueden utilizarse en la formulación de masas laminables libres de gluten, sistemas que por lo general requieren la formación de estructuras estables que aporten propiedades texturales adecuadas. Conocer el efecto de la tecnología de extrusión alcalina sobre las propiedades tecno funcionales de la harina de maíz de diferentes tipos de endospermo, sumará una alternativa al uso de estos maícesnativos ya que el tostado es el principal tratamiento actualmente aplicado. Por lo tanto, los objetivos de este trabajo, fueron, a) obtener harinas precocidas de maíz de las razas cuzco y perlita por extrusión alcalina y por extrusión tradicional; b) analizar el efecto de la dureza del endospermo de maíz, sobre las propiedades tecno funcionales de las harinas obtenidas y c) evaluar las propiedades texturales de sus masas. De esta manera esperamos abrir un camino a un estudio más profundo, que incremente su valoración, ya que los alimentos tradicionales pueden enriquecer y mejorar nuestra alimentación, al tiempo que perpetúan elementos esenciales del saber local y el patrimonio cultural.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

Se trabajó con maíces raza cuzco y perlita de CAUQUEVA (Maimará, provincia de Jujuy, Argentina) y por el INTA-IPAF NOA (Maimará). Fueron cosechados y posteriormente secados a temperatura ambiente de la zona (26 ° C de día y 10 °C de noche, temperaturas promedio). La molienda integral de los granos de maíz se llevó a cabo en un molino de martillo (Polymix PX- MFC- 90 D Kinematica) hasta obtener una harina con tamaño de partícula menor a 500 µm, tamizada en malla N° 40 (ASTM-E-11-61).

2.2 Composición de macronutrientesen harinas

Se determinaron los contenidos de macronutrientes de las harinas de maíz cuzco y perlita. Se emplearon los métodos analíticos AOAC: humedad (AOAC Internacional, 2005a), proteínas (AOAC Internacional, 2005b) y lípidos (AOAC Internacional, 2005c). La dureza del endospermo se determinó mediante la técnica del índice de flotación (IF) (Vázquez-Carrillo, 2003).

2.3 Acondicionamiento de harinas

Se pesaron 200 g de harinas y se agregó agua destilada hasta obtener una humedad del 35% verificada por técnica de humedad (AOAC Internacional, 2005a). Para la extrusión alcalina, a las muestras se les adicionó 0,25 g de $Ca(OH)_2$/100 g de harina de maíz y cada muestra se mezcló durante 3 min. Ambas muestras se almacenaron en bolsas de polietileno, por 12 h en refrigeración (5 ℃), hasta su uso.

2.4 Extrusión

El proceso de extrusión se llevó a cabo en un equipo Extrusor Brabender (KE 19/25D,Alemania) monotornillo para obtener harina cuzco y perlita extruida (HCE, HPE), y harina cuzco y perlita extruida alcalina (HCEA, HPEA). Se utilizó un tornillo con una relación de longitud a diámetro 19:1 y una relación de compresión nominal 2:1. La velocidad de alimentación de las muestras acondicionadas fue de 20 rpm. La velocidad del tornillo fue de 60 rpm. El equipo extrusor manejó tres zonas de calentamiento: la primera zona (zona de alimentación) a 40 ° C, la segunda (zona de compresión) a 60 ° C y finalmente la tercera a 80 ° C (zona de cocimiento). Los extruidos se obtuvieron por una boquilla de 3 mm de diámetro y se recogieron en bandeja para su posterior secado.

2.5 Obtención de harinasextruidas

Las muestras extruidas se secaron en estufa a 30℃ durante 12 h. Luego se molieron en molino de martillo y se pasaron a través de una malla N° 60 (ASTM-E-11-61) para seleccionar partículas con un tamaño ≤ 250 µm.

2.6 Índice de solubilidad en agua (ISA), índice de absorción de agua (IAA) y capacidad de retención de aceite.

Se determinaron los índices ISA y IAA, en las harinas obtenidas, según el procedimiento de Anderson y otros (1969), con ligeras modificaciones: se mezcló una muestra de 2,5 g con 10 ml de agua destilada en un tubo de centrífuga de 50 ml a 25 ℃. La suspensión se agitó durante 30 min y se centrifugó a 5000 rpm durante 30 min. El sobrenadante se colocó en una placa de aluminio tarado y se evaporó en un horno de convección a 105 ℃ durante 12 h. Se registró el peso del gel, así como el precipitado, y el IAA se expresó como g de gel/g de muestra seca.El ISA se determinó utilizando la metodología informada por Anderson(1969), utilizando la siguiente ecuación:

$$ISA = PSS/PM \quad (1)$$

Dónde: PSS es el peso del material soluble en el sobrenadante y PM es el peso inicial de la muestra.

La capacidad de retención de aceite (CRA) de las muestras se determinó según el método descrito por Ahmed y otros (2016). Brevemente, se transfirieron 10 ml de aceite de girasol a 100 mg de muestra en un tubo de centrífuga de 50 ml, y se agitó. La mezcla resultante se centrifugó a 1500 g durante 30 min. La CRA se expresó como g de aceite absorbido/g de muestra a 30 ℃. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

2.7 Propiedades físicoquímicas de las harinas

Grado de gelatinización (DG) -Formación de complejo amilosa-yodo

Se utilizó una versión adaptada del método colorimétrico desarrollado porBirch y Priestley (1973). Se pesaron 0,04 g de muestra y se disolvió en 50 mlde KOH 0,15 M, la solución se mezcló durante 15 min y se centrifugó para eliminar la parte insoluble de la muestra. Después de la centrifugación, se retiró 1 ml del sobrenadante y se neutralizó con 9 ml de HCl 0,017 M. Posteriormente, se añadió 0,1 ml de reactivo de yodo (1 g de yodo y 4 g de yoduro de potasio en 100 ml de agua) para formar un complejo azul con la amilosa disuelta presente en la muestra. La absorbancia se midió a 25 °C

y 600 nm(A 1). Se repitió el procedimiento, sin embargo, en este caso se utilizó KOH 0,40 M para asegurar la completa solubilización de toda la amilosa presente en la muestra. El sobrenadante se neutralizó con HCl 0,045 M. Después de agregar 0,1 ml de reactivo de yodo, se midió la absorbancia a 25 °C y 600 nm (A2). La relación A 1 (KOH 0,15 M) / A 2 (KOH 0,40 M) se puede utilizar como medida del grado de gelatinización de la muestra (Baks et al. 2007).

Almidón Dañado (AD)

El contenido de AD se analizó mediante un kit enzimático comercial (Megazyme, 2011, K-SDAM 07/11) según la metodología propuesta por Vázquez-Carrillo (2011). El contenido de AD fue el resultado del promedio de cuatro repeticiones. Se realizó el mismo proceso con un reactivo en blanco y estándar.

Color

El color se evaluó utilizando un colorímetro Quest XE (Hunter Lab, EE. UU), en base a tres valores de color "L", "a" y "b". El valor "L" significa luminosidad (100 para blanco y 0 para negro), el valor "a" representa verde y rojo (-80 para verde y 100 para rojo) y el valor "b" significa cambio de azul a amarillo (-80 para azul y 70 para amarillo). El instrumento fue calibrado con azulejos blanco y negro. Se pesaron unos 100 g de harina, la muestra se colocó en una placa de Petri para registrar los parámetros L, a, y b.

2.8 Propiedad de masas de harinas extruidas

Capacidad de agua subjetiva (CAAS)

La CAAS se determinó de acuerdo a la metodología reportada por Gaytán-Martínez et al. (2000). El valor se informó como ml agua/g de harina.

Propiedades texturales

Se determinaron las propiedades texturales de las masas de harina acondicionadas por el método de CAAS. Se utilizó la metodología propuesta por Topete-Betancourt(2020). Se utilizó un texturometro TA TA-XT2equipado con el software Texture Exponente Lite para Windows. Se realizó un análisis de perfil de textura (TextureProfileAnalysis, TPA), que consiste en un ensayo de doble compresión con un tiempo de espera entre ellos, sobre discos de masa obtenidos a partir de masas frescas. Al disco de masa se lo sometió a un ciclo de doble compresión empleando una deformación del 40% de la altura original con una sonda de aluminio SMSP/50 (de 5 cm de diámetro) y una celda de 25 kg. Se esperó 5 s entre ambos ciclos. La velocidad del ensayo fue de 1 mm/s. Se ensayaron 6 discos por cada formulación. Se determinaron los parámetros de dureza, cohesividad, elasticidad y adhesividad de las masas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se muestra la composición proximal del maíz cuzco y perlita y los valores de índice de flotación (IF) que permiten determinar la dureza del grano. De acuerdo a los valores de IF el maíz cuzco corresponde a endospermo blando, mientras que el maíz perlita a un endospermo duro. En cuanto a su composición química en general se observaron diferencias significativas ($p<0.05$) en las variedades estudiadas.El maíz cuzco presentó un mayor contenido de proteínas mientras que el maíz perlita presentó un mayor contenido de lípidos. La diferencia en la composición química puede estar relacionado con factores genéticos, el tipo de maíz y las condiciones ambientales de crecimiento (Salvador-Reyes et al., 2021)

Tabla 1. Composición proximal de maíz andino y valores de dureza del endospermo (IF)

Nutriente	Maíz Cuzco	MaízPerlita
Proteínas	11,08±0,02[a]	9.49±0,51[b]
Lípidos	4.00±0,52[a]	6,14±1,04[b]
Cenizas	1,18±0,04[a]	1,19±0,16[a]
IF	100	24

Expresados en (g/100g bs). Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ($p<0,05$).

El IAA de agua está relacionado con los parámetros de cocción de las harinas como la temperatura y la humedad. En la Fig. 1a se observan los valores encontrado para IAA, el rango varió entre 2.64 a 2.92 (g de gel/g de harina) estos valores estuvieron dentro de los valores informados por Contreras-Jiménez

(2013) para harinas obtenidas por extrusión alcalina. Los valores encontrados presentaron diferencias significativas $p<0.05$ entre las razas acentuándose este efecto en las harinas de endospermo blando. La HCEA presentó el menor valor esto puede deberse a que en las harinas de de endospermo blando posiblemente el tratamiento alcalino proporcione una mayor interacción entre las proteínas y la red de almidón Villanueva (2018)y Li(2018) encontraron que un mayor contenido de proteína favorece las interacciones de la red de almidón-proteína, lo que resultaba en una disminución de la absorción de agua. En el caso de la HPEA se observa un mayor valor de IAA que la HPE y esto puede deberse a que el agregado de $Ca(OH)_2$ modifica los componentes del grano principalmente del pericarpio, generando sitios hidrofílicos para el agua (Santiago-Ramos et al., 2018).

El índice de solubilidad en agua indica la cantidad de sólidos disueltos por el agua cuando una muestra de harina se somete a un exceso de este líquido; indica también el grado de dextrinización del almidón durante la extrusión (González, et al., 2006). En la Fig. 1b se observa una diferencia significativa ($p<0.05$) entre los valores encontrados en las harinas obtenidas, se puede ver que tanto el factor raza como el factor tratamiento fueron significativos encontrando un mayor porcentaje de sólidos solubles en la HCEA. Este resultado puede deberse a que el tratamiento térmico sobre el maíz de endospermo blando puede causar una mayor fragmentación del almidón originando dextrinas las cuales impactan en la cantidad de sólidos solubles (Enríquez-Castro et al. 2020) Por otro lado el tratamiento alcalino sobre la harina de maíz integral provoca una hidrólisis y solubilización de los componentes estructurales del pericarpio (Bello-Pérez, et al., 2002), aumentando los valores de ISA. El rango encontrado para estas harinas fue de 6.21 ± 0.02 a 9.11 ± 0.03% valores similares a los informados por Contreras-Jiménez (2013) utilizando un sistema de bajo cizallamiento, bajas temperatura y alta humedad.

La CRA (Fig. 1c) para la HCEA y HPEA fue significativamente menor ($p < 0.05$) demostrando un efecto del tratamiento térmico alcalino, este comportamiento es esperable ya que la HCEA presentó mayor ISA, indicando mayores componentes que se solubilizan en agua y disminuyendo los componentes que retienen aceite (Valencia y Román, 2006).

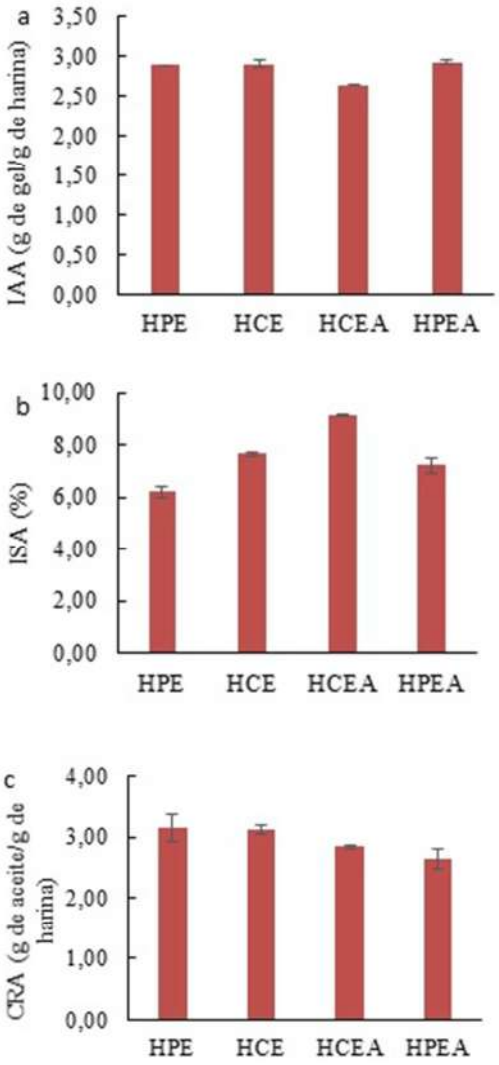


Figura 1 a) Índice de absorción en agua (IAA). b) Índice de solubilidad en agua (ISA). c) Capacidad de retención de aceite (CRA).

En la tabla se pueden observar los valores encontrados en las propiedades fisicoquímicas evaluadas en las harinas obtenidas. Según estudios realizados la técnica de complejamiento amilosa-yodo es una técnica adecuada para medir el grado de gelatinización (DG) en muestras que presentan un porcentaje menor al 50% (Baks et al., 2007). Nuestros resultados se encontraron en un rango de 22,79

a 37,97 %. Las muestras presentaron diferencias significativas ($p<0.05$) en cuanto al factor raza y tratamiento, presentando mayor valor la HCEA. Santiago Ramos (2018) informó que la gelatinización parcial depende de la dureza del endospermo del grano, en los granos duros el pericarpio presenta un alto grado de compactación que dificulta el proceso de gelatinización. En cuanto a los resultados obtenidos en la harina de endospermo blando, esto podría deberse a que los esfuerzos termo-mecánicos fuerzan la gelatinización debilitando los enlaces por acción mecánica promoviendo la lixiviación de la amilosa aumentando así el grado de gelatinización (Enríquez-Castro et al., 2020).

En cuanto al almidón dañado (AD) las muestras HCE y HCEA presentaron mayores valores que las HPE y HPEA (Tabla 2) Esto demuestra que para las mismas condiciones termo mecánicas las muestras con endospermo blando, presentan un mayor grado de cocción.

Color: Una de las características visibles en la diversidad de los maíces es el color de sus granos. El maíz cuzco presenta un color amarillo pálido mientras que el maíz perlita es amarrillo. Después de la molienda las harinas obtenidas presentaron una mayor luminosidad ($L > 70$). Sin embargo, se observaron diferencias significativas en todas las harinas obtenidas ya sea por el factor raza como por el factor tratamiento. En la dimensión *a* todas las harinas presentaron valores positivos indicando tonalidades rojizas. Dentro de los niveles de amarillo (+b) a azul (-b) todas las harinas se orientaron hacia el amarillo. Dentro de las harinas de maíz perlita se observó un aumento en la coloración amarilla presentando el mayor valor de b para las HPEA.

Tabla 2. Propiedades físicoquímicas de las harinas procesadas

Harinas	DG %	AD %	Color		
			*L	*a	*b
HCEA	37,97 ± 0,68 a	23,96 ± 0,01 a	74,24 ± 0,13 a	0,53 ± 0,00 a	16,21 ± 0,03 a
HPEA	23,30 ± 0,01 b	18,00 ± 0,01 b	76,93 ± 0,29 b	0,83 ± 0,01 b	22,49 ± 0,09 b
HPE	22,79 ± 0,18 c	14,56 ± 0,00 c	79,51 ± 0,26 c	0,72 ± 0,07 c	20,75 ± 0,17 c
HCE	24,46 ± 0,60 d	28,11 ± 0,01 d	82,12 ± 0,19 d	0,24 ± 0,03 d	17,86 ± 0,17 d

Valores representados como la media ± la desviación estándar. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p<0,05$).

En la Tabla 3 se muestran algunos de los parámetros de textura medidos en las masas formadas teniendo en cuenta la capacidad de agua subjetiva (CAAS). Esta propiedad resulta importante desde un punto de vista económico debido a que impacta el rendimiento de la conversión de harina a masa. En general las harinas presentaron diferencias significativas ($p<0.05$) tanto por el factor raza como por el tratamiento. Los valores de CAAS se encontraron en un rango de 0.72 a 0.95 g de agua/ g de harina. Los valores de CAAS para harinas obtenidas por extrusión alcalina, fueron similares a los informados por Contreras-Jiménez(2013) en harinas obtenidas a una temperatura de proceso similar a la utilizada en este estudio. Los mayores valores de CAAS correspondieron a las harinas procesadas a partir de maíz deendospermo blando, esto puede ser debido al mayor porcentaje de almidón dañado y grado de gelatinización que presentaron (Gaytán-Martínez et al., 2000).

El análisis de TPA es un método analítico que permite medir varios parámetros de textura en un solo experimento. Los parámetros de textura evaluados en las masas se encuentran en la Tabla 3. La dureza de la masa en general se relaciona con el tipo de maíz, dureza de grano, absorción de agua de la harina y el grado de gelatinización de los almidones. (Contreras-Jiménez et al., 2013). Se observa que en este parámetro las masas presentaron diferencias

significativas ($p<0.05$) observando un mayor valor en las masas de maíz perlita a diferencia de las masas de endospermo blando que se deformaron permitiendo su moldeo. Sin embargo, en las harinas de endospermo duro se observó una disminución en la dureza de la masa de la HPEA.La adhesividad es un parámetro importante en la caracterización de masa. La masa debido al tipo de manipulación a la que es sometida requiere de una adhesividad y cohesividad que permita adherirse y separarse adecuadamente. Este parámetro presentó diferencias significativas en todas las masas evaluadas, observándose una mayor adhesividad en la HCEA a diferencia de las masas obtenidas por harinas de endospermo duro que se observó una disminución de este parámetro con el tratamiento alcalino. Topete-Betancourt (2020) encontró una correlación positiva entre el grado de gelatinización y la adhesividad de masas obtenidas por tratamiento térmico alcalino, indicando que la mayor adhesividad se debía al mayor grado de gelatinización que presentaban las harinas, lo que está de acuerdo con nuestros resultados.La cohesividad se representa como las fuerzas de los enlaces internos que mantienen la estructura de las redes formadas en la masa, en la Tabla 3 se observa que las harinas precocidas de maíz cuzco presentaron diferencias significativas ($p<0,05$) entre los tratamientos, aumentando el valor de cohesividad con el tratamiento alcalino. Las masas con mayor grado de gelatinización resultan menos cohesivas, debido a que los gránulos actúan como núcleos de cristalización durante la rehidratación de la harina (Topete-Betancourt et al., 2020; Gasca-Mancera et al., 2007). Esa podría ser la razón por la cual las masas de harinas obtenidas por extrusión alcalina, quienes presentaronmayor grado de gelatinización, obtuvieron menores valores de cohesividad.

La elasticidad es una propiedad que se relaciona con la capacidad del material para almacenar energía y volver a su forma o estado original. Valores altos de elasticidad son indeseables en las masas laminadas ya que aumentaría el espesor de las mismas después del moldeo. Las masas obtenidas a partir de maíz de endospermo duro presentaron mayores valores de elasticidad, sin embargo, la presencia de un agente alcalino disminuye esta propiedad. De acuerdo a Topete-Betancourt (2020), este efecto se puede relacionar al mayor aporte de fibra causado por el proceso térmico alcalino las cuales son las responsables de la reducción significativa en la capacidad de recuperación de las masas cuando se le aplica una fuerza.

Tabla 3. Capacidad de absorción de agua subjetiva y propiedades texturales de masas de harinas procesadas.

Muestras	CAAS (ml/g)	Dureza (N)	Elasticidad (mm)	Cohesividad	Adhesividad (N*seg)
HCE	0,95 a	26,53 ± 0,77 a	0,25 ± 0,01 a	0,27 ± 0,05 a	1,23 ± 0,05 bc
HCEA	0,78 b	42,95 ± 0,37 b	0,38 ± 0,02 b	0,29 ± 0,01 a	2,49 ± 0,12 a
HPE	0,92 c	69,44 ± 0,13 c	0,83 ± 0,02 c	0,42 ± 0,07 b	1,59 ± 0,45 b
HPEA	0,72 d	63,58 ± 0,81 d	0,72 ± 0,02 d	0,22 ± 0,22 a	0,66 ± 0,03 c

Valores representados como la media ± la desviación estándar. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p<0,05$)

4. CONCLUSIONES

El proceso de extrusión modifica las propiedades funcionales de los maíces nativos, influyendo en su aptitud para formar masa. En las condiciones estudiadas se obtuvieron harinas con un porcentaje de gelatinización menor al 50 %. La presencia de un agente alcalino intensifica estas modificacionesmejorando las propiedades texturales de sus masas, sistemas que requieren valores intermedios de cohesividad, adhesividady sobre todo buena resistencia al amasado. El tratamiento de extrusión alcalina favoreció la factibilidad de formación de masas tanto en la harina maíz de endospermo duro y especialmenteen las

proveniente del maíz blando. Por lo tanto, recuperar e incentivar la aplicación de este tratamiento en la región de Quebrada y Puna de Jujuy permitirá el uso de ambos tipos de maíces en la obtención de harinas con potenciales usos en productos de masas.

5. REFERENCIAS

Ahmed, J., Hasan, Al., Yasir A. y Arfat, A., Effect of particle size on compositional, functional, pasting and rheological properties of commercial water chestnut flour. En: Food Hydrocolloids, 52, pp.888-895. 2016.

Anderson Conway, H.F., Pfeifer, V. F. y Griffin, Jr., Gelatinization of corn grits by roll and extrusion-cooking. En: Cereal Science Today, 14, pp.4-12. 1969.

AOAC International, 2005a. Official Methods of Analysis of AOAC International. 18a ed. Gaithersburg: AOAC. Official Method 925.10.

AOAC International, 2005b. Official Methods of Analysis of AOAC International. 18a ed. Gaithersburg: AOAC. Official Method 920.87.

AOAC International, 2005c. Official Methods of Analysis of AOAC. International. 18a ed. Gaithersburg: AOAC. OfficialMethod 920.39.

Bello-Pérez, L. A., Osorio-Díaz, P., Agama Acevedo, E., Núñez S. y Paredes López, O. Propiedades químicas, fisicoquímicas y reológicas de masas y harinas de maíz nixtamalizado En: Agrociencia, 36(3), pp.319-328. 2002.

Baks, T., Ngene, IS, Van Soest, JJ, Janssen, AE y Boom, RM. Comparación de métodos para determinar el grado de gelatinización para concentraciones altas y bajas de almidón. Polímeros de carbohidratos, 67 (4), 481-490.2007.

Birch, G. G., & Priestley, R. J., Degree of gelatinisation of cooked rice. Starch-Stärke, 25(3), 98-100. 1973.

Contreras-Jiménez, B. Morales-Sánchez, E., Reyes-Vega M.L., Gaytán-Martínez, M. Propiedades funcionales de harinas de maíz nixtamalizado obtenidas por extrusión a baja temperatura, CyTA - JournalofFood, 12:3, 263-270, 2014.

Contreras-Jiménez, B., Gaytán-Martínez, M., Morales-Sánchez, E., Figueroa, J., Pless, E., González-Jasso, E., Méndez-Montealvo, G. y Velázquez, G., 2016. Effect of tempering time, $Ca(OH)_2$ concentration and particle size on the rheological properties of extruded corn flour. En: Cereal Chemistry Journal, 94, pp.230-236.

Domínguez, N. E., Miranda, R. M., Giménez, M. A., Lobo, M. O., &Sammán, N. C. (2022). Efecto de la extrusión alcalina en las propiedades fisicoquímicas y funcionales de la harina integral de maíz andino. INNOTEC, (24 jul-dic), e600.

Enríquez-Castro, CM, Torres-Chávez, PI, Ramírez-Wong, B., Quintero-Ramos, A., Ledesma-Osuna, AI, López-Cervantes, J., & Gerardo-Rodríguez, JE. Physicochemical, Rheological, and Morphological Characteristics of Products from Traditional and Extrusion Nixtamalization Processes and Their Relation to Starch. International Journal of Food Science, 2020

Gasca-Mancera, J. C., & Casas-Alencáster, N. B..Adición de harina de maíz nixtamalizado a masa fresca de maíz nixtamalizado. Efecto en las propiedades texturales de masa y tortilla. Revista Mexicana de Ingeniería Química, 6(3), 317-328. 2007.

Gaytán-Martínez, M., Martínez-Bustos, F., & Morales-Sánchez, E. Aplicación de un proceso de cocimiento dieléctrico en la elaboración de harinas instantáneas de maíz amarillo para la preparación de frituras de masa y tortillas. Archivos Latinoamericanos De Nutrición, 50 (4), 366–373. 2000.

Giménez, M.A.; Segundo, C.N.; Domínguez, N.E.; Samman, N.C.; Lobo, M.O. UtilizationofHydrothermallyTreatedFlours in Gluten-Free Doughs. Biol. LifeSci. Forum, 17, 5.2022.

Gutiérrez-Dorado, R., Ayala-Rodríguez, A. E., Milan-Carrillo, J., López-Cervante, J., Garzón-Tiznado, J. A., López-Valenzuela, J. A., Paredes López, O. y Reyes-Moreno, C., Technological and nutricional propertiesofflours and tortillas fromnixtamalized and extrudedqualityproteinmaize (Zea mays L.). En: Cereal Chemistry, 85(6), pp.808-816. 2008.

Guo, N., Wei, X. y Zhu, K., The impact of protein cross-linking induced by alkali on the quality of

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado por el proyecto IaValSe-Food-CYTED (Nº119RT0567) y SECTER – Universidad Nacional de Jujuy – CONICET. Agradecemos a Rita Marisol Miranda por el apoyo técnico.

buckwheat noodles. En: Food Chemistry, 221(15), pp.1178-1185. 2017.

Li, Z. , Wang, L. , Chen, Z. , Yu, Q. y Feng, W.. Impact of protein content on processing and texture properties of waxy rice flour and glutinous dumpling. Revista de Ciencias de los Cereales, 81 , 30 – 36. 2018.

Rooney LLW and Serna-Saldívar SO. Food uses of whole corn and dry-milled fractions, In: Watson S.A. & Ramstad P.E. (Eds.), Corn Chemistry and Technology, S.P. Minnesota, U.S.A. American Association of Cereal Chemistry, Inc. Cap. 13, pp 359-429. 1987.

Robutti J, Borrás F, González R, Torres R, De Greef D. Endosperm Properties and extrusion cooking behavior of maize cultivars. LWT FoodSciTech.; 35:663-9. 2002.

Ramos, R.S.; Hilgert, N.I.; Lambaré, D.A. Agricultura Tradicional y Riqueza de Maíces (Zea mays); Estudio de Caso en Caspalá: Provincia de Jujuy, Argentina, 2013. (In Spanish)

Repo-Carrasco-Valencia, R., Hellstrom, J. K., Pihlava, J., Mattila, P. H. Flavonoids and other phenolic compounds in Andean indigenous grains: Quinoa (*Chenopodium quinoa*), kaniwa (*Chenopodium pallidicaule*) and kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Food Chemistry*, 120, 128–133, 2010.

Salvador-Reyes, R., Rebellato,A. P., Azevedo Lima Pallone, J., Ferrari, R., Pedrosa Silva Clerici M. T. Kernel characterization and starch morphology in five varieties of Peruvian Andean maize, Food Research International,140,110044,2021.

Topete-Betancourt, A., Santiago-Ramos, D., & de Dios Figueroa-Cárdenas, J.. Ensayos de relajación y propiedades texturales de la masa de maíz nixtamalizado y sus relaciones con la textura de la tortilla. Biociencia de los alimentos,33, 100500. 2020.

Valencia, F.E. y Román, M.O., Caracterización fisicoquímica y funcional de tres concentrados comerciales de fibra dietaría. En: Vitae, 13(2), pp.54-60. 2006.

Vázquez-Carrillo, G., S. García-Lara., Y. Salinas-Moreno, D. J. Bergvinson, and N. Palacios-Rojas., Grain and tortilla quality in landraces and improved maize grown in the highlands of Mexico. Plant Foods for Human Nutr. 66: 203-208. 2011.

Villanueva, M., Lamo, B. D., Harasym, J., & Ronda, F..Microwave radiation and protein addition modulate hydration, pasting and gel rheological characteristics of rice and potato starches. CarbohydratePolymers, 201, 374–381. 2018.

Vinces Guillen, R., & Zavala Bustamante, V. Obtención de harina nixtamalizada de maíz morado (Zea Mays L.) por extrusión. Repositorio USIL.https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/a0eb61e4-48d8-4b2c-855b-df099ed8bf28/content. 2020.

.

Efecto del envasadodel bagazo de cerveza en la digestibilidad y en el contenido de compuestos fenólicos

García, Daniela C.; Villalba, Ivanna L.;Savino, Narella; Suárez, F. Melina; Nazareno, Mónica A.

Instituto de Ciencias Químicas. Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero.

dani.c.garcia@gmail.com

RESUMEN

La cerveza es una de las bebidas más populares. En el proceso de obtención se produce bagazo cervecero (BSG). El BSG posee una valiosa composición para la alimentación animal, pero es un subproducto que se obtiene en grandes cantidadesy que por su contenido de humedad y rápida descomposición es necesario secarlo, procesarlo o envasarlo para permitir extender su vida útil. El objetivo de este trabajo fue monitorear la composición, digestibilidad y aporte antioxidante de harinas de BSG secadas a diferentes temperaturas posterior a su almacenamiento en húmedo durante 2, 4 y 6 semanas. Se observó que las muestras almacenadas muestran un aumento significativo en el contenido total de compuestos fenólicos (1,456±0,021 mg ácido ferúlico (AF)/g), actividad antioxidante (0,132±0,005 mg AF/g), y cambios en el porcentaje de hemicelulosa(34,10±0,7%) y celulosa (15,00±0,1%) además de mejorar la digestibilidad (1952,94±78,4 kg/kg), con respecto al control. Estos resultados podrán contribuir a la toma de futuras decisiones en nutrición y manejo animal y a la evaluación de nuevas formas de almacenamiento de este subproducto para su consumo en animales de interés pecuario.

SUMMARY

Beer is one of the most popular beverages. In the production process, brewer's spent grain (BSG) is generated. BSG possesses a valuable composition for animal nutrition, but it is a byproduct obtained in large quantities and due to its moisture content and rapid decomposition, it is necessary to dry, process, or package it to extend its shelf life. The objective of this study was to monitor the composition, digestibility, and antioxidant contribution of BSG flours dried at different temperatures after wet storage for 2, 4, and 6 weeks. It was observed that the stored samples show a significant increase in the total content of phenolic compounds (1.456±0.021 mg ferulic acid (FA)/g), antioxidant activity (0.132±0.005 mg FA/g), and changes in the percentage of hemicellulose (34.10±0.7%) and cellulose (15.00±0.1%), as well as an improvement in digestibility (1952.94±78.4 kg/kg), compared to the control. These results may contribute to making future decisions in animal nutrition and management and to the evaluation of new storage methods for this byproduct for consumption in livestock animals.

Palabras claves: BSG – nutrición – antioxidantes – almacenamiento

Keywords: BSG – nutrition – antioxidants – storage

1. INTRODUCCIÓN

Una de las agroindustrias más importante a nivel mundial es la cervecera. Según la FAO, se producen 113.654 toneladasde cerveza al año, impulsando la economía de un país y la producción incontrolada de residuos sólidos, conocido localmente como bagazo cervecero(BSG) (Lynch et al., 2016). Es una materia prima de interés para la aplicación en diferentes áreas debido a su bajo costo, disponibilidad durante todo el año y valiosa composición química. Es destinada mayormente a la alimentación de ganado y en algunos casos

se emplea como abono en tierras de cultivo; sin embargo, en las zonas urbanizadas, constituye un serio problema ambiental. El bagazo de cerveza está constituido por alrededor de 20% de proteína bruta, 8,5% de extracto etéreo y 70% de fibra, que incluyen celulosa (entre 15.5 y 25%), hemicelulosa (28 a 35%) y lignina (aproximadamente 28%). Estudios previos han determinado que compuestos fenólicos presentes en el bagazo de cerveza se comportan como antioxidantes naturales (McCarthy et al., 2013; Bonifacio-Lopes et al., 2020). Los compuestos fenólicos tienen su origen en el mundo vegetal y son unos de los principales metabolitos secundarios de las plantas y su presencia en el reino animal se debe a suingestión. Los fenoles son sintetizados *de novo* por las plantas y son regulados genéticamente, tanto a nivel cualitativo como cuantitativo, aunque a este nivel también existen factores ambientales (Khoddami et al., 2013). La capacidad antioxidante descripta para este grupo de compuestos se puede considerar como la actividad biológica responsable del efecto preventivo que se les atribuye sobre determinados padecimientos. La protección que las frutas y vegetales brindan contra las enfermedades degenerativas como cáncer, enfermedades cardiovasculares y cerebrovasculares, ha sido atribuida a su alto contenido de potentes antioxidantes. Estos se caracterizan por presentar un papel esencial en la protección frente a los fenómenos de daño oxidativo. El balance adecuado entre especies reactivas como radicales libres y la presencia de antioxidantes contribuye a que los acontecimientos fisiológicos sean exitosos (Javanbakht et al., 2014).

El BSG también es considerado como una fuente de biomasa con alto contenido de humedad y residuos glucoproteicos que brindan un medio propicio para la proliferación de microbiota bacteriana. Por tanto, para reducir los riesgos de contaminación cruzada y asegurar la calidad del subproducto, su secado y disposición deben ser inmediatas (Villa y Tovar, 2021).Por esta razón, la utilización de bagazo como insumo para elaborar productos de consumo, es una propuesta sumamente oportuna como ejemplo de economía circular; que a diferencia del modelo lineal lleva adelante los principios de regeneración y restauración del capital natural.Justamente por su alto contenido de humedad, es difícil la conservación y se descompone rápidamente por lo que se deben buscar alternativas para un almacenamiento de larga duración. Además, el bagazo de cerveza es un subproducto rico en nutrientes que contiene una diversidad de microorganismos, incluyendo bacterias autóctonas, que son microorganismos nativos del bagazo y forman parte de su flora bacteriana. Muchas de las bacterias autóctonas tienen la capacidad de liberar compuestos antioxidantes en ciertas condiciones mediante la síntesis de enzimas que actúan sobre la fibra (Wang y Nishino et al., 2008).

Por ello se propone en este trabajo evaluar el efecto de la conservación del bagazo cervecero húmedoalmacenado en recipientes plásticos opacos y herméticos sin oxígeno y posterior secado y molienda, mediantela determinaciónde sus componentes bioactivosa lo largo de los días de envasado, así como también los posibles cambios en parámetros de digestibilidad.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Obtención del bagazo cervecero

Se dispuso de bagazo de cerveza roja “Puka” de la Cervecería “Del Barco”, Santiago del Estero. Se transportó el material inmediatamente al terminar el lote de producción de cerveza artesanal en envases plásticos en oscuridad para minimizar su descomposición.

2.2 Almacenamiento del bagazo cervecero

La conservación del bagazo cervecero húmedoen contenedores es una metodología que se aplica actualmente para su uso como alimento en la cría de animales. La flora bacteriana autóctona presente en el bagazo de cerveza puede tener la capacidad de liberar compuestos antioxidantes que podrían tener beneficios potenciales. Considerando esta alternativa,se llenaron completamente recipientes plásticos oscuros de 3 L de capacidad con el bagazo de cerveza roja obtenido con un 68 % de humedad. Se mantuvo los envases a temperatura ambiente y en oscuridad durante 0 (control, bagazo húmedo sin incubación)2,4 y 6 semanas, empleando un frasco para cada tratamiento (Fig. 1).

Figura 1. Descripción del procedimiento del almacenamiento, secado, molienda y preparación de extractos con BSG de cerveza roja.

2.3 Secado y molienda

Posteriormente al tiempo de almacenamiento en los recipientes establecido para el bagazo, se optó por secar el materialempleando bandejas metálicas en estufa de secado a 60 °C durante 48 h y a 100°C durante 24 h. Luego, se usó un molinillo eléctrico para obtener harinas de cada tratamiento.

2.4 Medición de fibras, proteína bruta, lignina y digestibilidad

Las siguientes determinaciones se realizaron en muestras de polvo de bagazo de cada tipo de cerveza a través de un servicio solicitado al Laboratorio de Forrajes de Nutrición Animal del INTA. Las muestras se secaron durante 12 h a 105º C para la determinación de la materia seca (MS). Todas las muestras fueron analizadas para determinar la fibra detergente neutro (FDN), la fibra detergente ácido (FDA) y la lignina detergente ácido (LDA) mediante un análisis secuencial con el ANKOM-Fiber Analyzer 200 (ANKOM Technology, Macedon, NY) utilizando el procedimiento descrito por Komarek et al. (1993). Los valores de FDN y FDA reportados contienen cenizas residuales. La proteína bruta se analizó utilizando Kjeldhal para la determinación de N (Association of Official Analytical Chemists 1980). La digestibilidad *in vitro* de la MS (DMS) se determinó utilizando el incubador DAISYII (García et al., 2017).

2.5 Preparación de extractos hidroalcohólicos

Para determinar el contenido total de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante, se prepararon extractos, empleando como solvente alcohol 60° (Bonifácio-Lopes et al., 2020). Para ello se pesó 1 g de cada harina y se los llevó a volumen con 25 mL de solvente sometiéndolo a doble extracción asistida por ultrasonido a 60°C durante 10 min. Los análisis se realizaron por duplicado.

2.6 Determinación del contenido total de compuestos fenólicos

Se determinó el contenido total de compuestos fenólicos en los extractos de cada tratamiento, a partir del método de Folin-Ciocalteu (Singleton et al., 1999). Se realizaron medidas espectrofotométricas a 765 nm y los resultados se expresaron en mg de ácido ferúlico (AF)/g de harina de BSG. Se realizaron mediciones por duplicado. Para ello fue necesario realizar curvas patrones previamente con AF puro.

2.7 Evaluación de la actividad antioxidante

Se determinó la actividad antioxidante mediante el método de decoloración del radical del ácido 2,2'-azinobis (3-etilbenztiazolin)-6-sulfónico (ABTS·+) (Abramovič et al., 2017; Bonifácio-Lopes et al., 2020). Se determinó porespectrofotometríaa 734 nm durante 10 min por 20 ciclos de 30 s. Las mediciones se realizaron por duplicado y posteriormente se procesaron los datos en el programa Origin 2021b.
Se empleó ácido ferúlico como curva patrón y los resultados se expresaron como mg de AF/g de harina de BSG.

2.8 Análisis estadístico

Se empleó el análisis de la varianza (ANOVA) mediante el programa estadístico InfoStat (InfoStat 2015, http://www.infostat.com.ar). Los resultados obtenidos se expresaron como media ± error estándar. Las diferencias significativas fueron evaluadas por el test LSD Fisher ($p < 0,05$). Se realizan las comparaciones estadísticas entre todos los tratamientos, incluyendo el control.

3. RESULTADOS

Una vez recolectado el bagazo de cerveza roja, se almacenó en recipientes plásticos oscuros durante el tiempo correspondiente. Posteriormente, se realizó el secado del material a 60 y 100°C y,luego, se aplicó la molienda. El control empleado fue el BSG húmedo sin almacenar secado y molido de igual forma a la descripta. La

harina de los diferentes tratamientos se analizó en el laboratorio de forrajes del INTA (Tabla 1). Al evaluar MS no se observó diferencias significativas al comparar la harina del BSG almacenado a diferentes tiempos. Tampoco se observaron variaciones al evaluar PB, FDN, FDA y LDA. El porcentaje de hemicelulosa presentó una disminución luego del almacenamiento durante 6 semanas. Otro parámetro evaluado fue la celulosa, observándose diferencias significativas entre los tratamientos y con respecto al BSG sin almacenar. Finalmente, al estudiar la DMS se observó que la harina del BSG almacenado a 2, 4 y 6 semanas presentó mayor digestibilidad que elcontrol.

Tabla 1: Determinaciones realizadas en la harina de las muestras de bagazo almacenado a distintos tiempos (base seca) y secados a 100 °C. MS: materia seca, PB: proteína bruta, FDN: fibra detergente neutro, FDA: fibra detergente ácido, LDA: lignina detergente ácido, DMS: digestibilidad *in vitro* de MS. BSG: bagazo sin almacenar. BSG 2 s: bagazo almacenado durante 2 semanas, BSG 4 s: bagazo almacenado durante 4 semanas, BSG 6 s: bagazo almacenado durante 6 semanas. * indica diferencias significativas con respecto al control ($p < 0,05$).

Determinaciones	BSG	BSG 2 s	BSG 4 s	BSG 6 s
MS%	92,7±0,4	92,1±0,4	91,4±0,4	93,2±0,4
PB%	11,90±0,3	16,20±0,3	15,70±0,3	16,50±0,3
FDN%	44,8±0,7	48,4±0,7	47,6±0,7	47,3±0,7
FDA%	15,60±1,1	27,30±1,1	26,10±1,1	28,20±1,1
LDA%	6,60±0,9	9,20±0,9	12,40±0,9	13,20±0,9
Hemicelulosa %	38,20±0,7	39,20±0,7	35,20±0,7	34,10±0,7*
Celulosa %	9,00±0,1	18,10±0,1*	13,70±0,1**	15,00±0,1***
DMS kg/kg	1080,35±78,4	1890,61±78,4*	1807,51±78,4*	1952,94±78,4*

Además, empleando las harinas se realizaron extractos hidroalcohólicos que permitieron el análisis de compuestos fenólicos y actividad antixiodante.

Se determinó el contenido total de compuestos fenólicos (Fig. 2) notando diferencias significativas en cada tratamiento.

La harina del BSG almacenado presentó una mayor concentración de dichos compuestos que la harina del BSG sin conservar. Las muestras secadas a 100°C presentaron mayor contenido de compuestos fenólicos. Al evaluar el efecto de almacenamiento, se observó un incremento proporcional al tiempo de conservación en los envases, al secarlo a 100°C. En el caso del secado a 60°C, el comportamiento fue similar exceptuando el contenido de compuestos fenólicos a las 6 semanas ya que se observó una disminución de estos componentes.

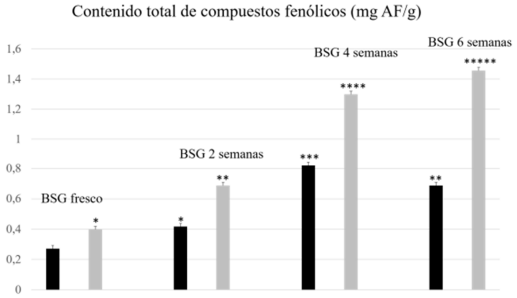


Figura 2. Contenido total de compuestos fenólicos en harinas de BSG almacenado durante 2, 4 y 6 semanas. Las barras negras indican los resultados al secar el material a 60°C y las barras grises a 100°C. * indica diferencias significativas ($p < 0,05$).

De igual forma se evalúo la actividad antioxidante de los mismos tratamientos, como se observa en la figura 3.

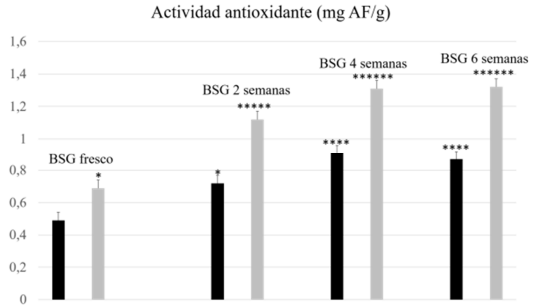


Figura 3. Actividad antioxidante en harinas de BSG almacenado durante 2, 4 y 6 semanas. Las barras negras indican los resultados al secar el material a 60°C y las barras grises a 100°C. * indica diferencias significativas ($p < 0,05$).

Las harinas de los BSG almacenados mostraron mayor actividad antioxidante queel BSG sin conservar. Las muestras secadas a 100°C son las que presentaron mayor actividad. También, se puede observar que tanto los extractos elaborados con harinas de BSG secado a 60 y a 100 °C aumentaron su actividad antioxidante hasta las 4 semanas. A las 6 semanas no se evidencióun aumento diferencial.

4. DISCUSIÓN

La producción de cerveza artesanal, genera una gran cantidad de BSG que lo convierte en un grave problema operacional. Su composición rica en azúcares y humedad facilita la proliferación de microorganismos, incrementando los costos necesarios en la disposición de este subproducto. Una alternativa es el uso como alimento para el ganado, pero debido al elevado volumen que se requiere, se precisa de secaderos de gran capacidad para poder secar la cantidad necesariade BSG y de esa manera poder conservarlo y almacenarlo(Villa y Tovar, 2021).

En este trabajo se evalúo la posibilidad de envasado de BSG húmedo durante 2, 4 y 6 semanas en recipientes plásticos oscuros a temperatura ambiente. Se observó que elcolor y aroma del material fueron agradables y aceptables.

El bagazo de cerveza es un subproducto rico en nutrientes y contiene una diversidad de microorganismos, incluyendo bacterias autóctonas, que son microorganismos nativos del bagazo y forman parte de su flora bacteriana. Estas bacterias autóctonas pueden tener la capacidad de liberar compuestos antioxidantes en ciertas condiciones. Estos componentes pueden ser beneficiosos para la salud animal debido a sus propiedades para reducir el estrés oxidativo y combatir el daño causado por los radicales libres(Villa y Tovar, 2021).

Dada esta alternativa se decidió conservar el BSG en recipientes oscuros con el fin de evaluar una posible acción de los microorganismos nativos. Luego del almacenamiento, el BSG se secó a 60 y 100°C, en base a ensayos preliminares. A estas temperaturas de secado se obtuvieron mejores resultados en la composición de compuestos fenólicos y antioxidantes, además de elegir el bagazo de cerveza roja entre los otros tipos por ser el que presentólos mejores valores.De todos modos, la composición del BSG depende siempre de diferentes aspectos como la procedencia del grano de cebada, la época del año, el proceso de malteado, y los aditivos utilizados en laproducción del mosto.

Publicaciones previas de otros autores han reportado ensilados de bagazo cervecero como forma de conservación, analizando que esta metodología mantiene importantes parámetros de igual forma que el BSG húmedo (de Souza et al., 2016).

En este trabajo se pudo determinar que almacenando BSG por 6 semanas y posterior secado, no sólo se conservó el material en buen estado, sino que aumentóel contenido total de fenólicosy su actividad antioxidante.

La concentración de fenólicos fue en aumento a lo largo de las 6 semanas, en particular al evaluar extractos de harina de BSG secados a 100°C. Esto puede deberse a la liberación de los componentes generados por la floraautóctona. Previamente se ha publicado que diversos hongos y bacterias presentes en el BSG tienen acción enzimática frente a sus componentes dando lugar a compuestos más simplificados con mayor actividad antioxidante (Bartolomé y Gómez□Cordovéset al., 1999; Verni et al., 2020; Llimós et al., 2022). Se conoce que el ácido ferúlico, es un componente de importancia por su poder antioxidante presente en este subproducto, pero se encuentra unido por enlaces glucosídicos o puentes de unión éster adyacente y entrecruzados a azúcares que constituyen la fibra. El tratamiento de hidrólisis enzimáticaproducido por bacterias puede liberarlo y favorecer su acción antioxidante (Faulds et al., 2002). Es importante destacar que la manipulación del bagazo debe ser adecuada y rápida para evitar el crecimiento excesivo de microorganismos que puedan generar pérdidas del material e influir en sus características. Robertson et al., 2010 determinaron que la contaminación microbiana al momento de obtener el BSG es baja y se considera dentro de los límites aceptables para el uso alimentario, pero que siempre se requieren regímenes de almacenamiento apropiados para minimizar la proliferación microbiana antes de la elaboración de los alimentos.

Además de estos parámetros, se pudo analizar que la proporción de hemicelulosa y celulosa se modifican y mejora la digestibilidad. Estos cambios que se ven en este subproducto a lo largo de los días se deben a la acción de los microorganismos que se encuentran presentes en el material desde el momento que se extrae en la cervecería (Gonzalez Pereyraet al., 2011).La composición de biopolímeros o macromolécula del BSG descripto en la bibliografía contiene principalmente hemicelulosa en forma de arabinoxilanos procedentes del grano de cebada,

celulosa y cantidades significativas de proteínas y lignina, por lo que es diana para diversos microorganismos (Xiros y Christakopoulos, 2012). Al verse modificada la composición de hemicelulosa y celulosa, mejora la digestibilidad. Por definición, el valor nutritivo de un forraje es el resultado de tres factores: su consumo por el animal, su digestibilidad· y la eficiencia con que el animal utiliza el forraje. La digestibilidad es un parámetro que mide la proporción de nutrientes que incorpora efectivamente un animal. Representa el porcentaje de un alimento consumido que no es eliminado y por tanto queda disponible dentro del animal para cumplir con las funciones de mantenimiento, producción y reproducción. Para alimentación animal siempre se busca mejorar la digestibilidad de un forraje, considerando que el BSG es un subproducto que se lo desecha y lógicamente puede usarse para el ganado. Además, el tratamiento empleado en este trabajo requiriósólo de recipientes oscuros, herméticosque permitió conservarlo en el tiempo y sin adición de ningún químico o material biológico extra. También puede emplearse recipientes más grandes para conservar este alimento por varias semanas y poder alimentar animales como por ejemplo vacunos (Gutierrez-Barrutiaet al., 2022).

Esta metodología también es una alternativa eco amigablepara el diseño y producción de diferentes compuestos. El BSG es un medio útil para la inoculación de microorganismos usando la fermentacióncomo mecanismo de aprovechamiento y acondicionamiento de esta materia prima.Existen antecedentes recientes del uso delBSGcomo medio de inoculación rico en nutrientes útiles para los procesos fermentativos, lo cual haimpulsado un gran número de estudios como sustrato en la obtención de importantes metabolitos entrelos que se encuentran agentes antibacterianos, ácidos grasos, antioxidantes y proteínas(Villa y Tovar, 2021).

5. CONCLUSIÓN

La exploración en la conservación y almacenamiento del BSG permite dar lugar a un material con una mayor composición de compuestos fenólicos y actividad antioxidante. Además, los diversos microorganismos presentes en BSG pueden tener la capacidad de producir metabolitos útiles, lo que lo convierte en un recurso valioso para diversos usos en agricultura e industria. Estos resultados podrán contribuir a la exploración y diseño de procesos biotecnológicos. Se continuará evaluando nuevas formas de almacenamiento de este subproducto para su consumo animal.

6. AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Cervecería “Del Barco” por proveernos el bagazo cervecero para este estudio de investigación.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abramovič, H., Grobin, B., Ulrih, N. P., y Cigić, B. (2017). The methodology applied in DPPH, ABTS and Folin-Ciocalteau assays has a large influence on the determined antioxidant potential. *Acta Chimica Slovenica*, 64(2), 491-499.https://doi.org/10.17344/acsi.2017.3408

Bartolomé, B., y Gómez□Cordovés, C. (1999). Barley spent grain: release of hydroxycinnamic acids (ferulic and p□coumaric acids) by commercial enzyme preparations. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79(3), 435-439.https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(19990301)79:3<435::AIDJSFA272>3.0.CO;2-S

Bonifácio-Lopes, T., Teixeira, J. A., y Pintado, M. (2020). Current extraction techniques towards bioactive compounds from brewer’s spent grain–A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(16), 2730-2741.https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1655632

de Souza, L. C., Zambom, M. A., Alcalde, C. R., Fernandes, T., Castagnara, D. D., Radis, A. C.,de Almeida Santos, S.M., Possamai, A.P.y Pasqualotto, M. (2016). Feed intake, nutrient digestibility, milk production and composition in dairy cows fed silage of wet brewers grain. Semina: *Ciências Agrárias*, 37(2), 1069-1080.https://doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n2p1069

Faulds, C., Sancho, A., y Bartolomé, B. (2002). Mono-and dimeric ferulic acid release from brewer's spent grain by fungal feruloyl esterases. *Applied microbiology and biotechnology*, 60, 489-494.https://doi.org/10.1007/s00253-002-1140-3

García, E. M., Cherry, N., Lambert, B. D., Muir, J. P., Nazareno, M. A., y Arroquy, J. I. (2017). Exploring the biological activity of condensed tannins and nutritional value of tree and shrub leaves from native species of the Argentinean Dry Chaco. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(14), 5021-5027.https://doi.org/10.1002/jsfa.8382

Gonzalez Pereyra, M. L., Rosa, C. A. R., Dalcero, A. M., y Cavaglieri, L. R. (2011). Mycobiota and mycotoxins in malted barley and brewer's spent grain from Argentinean breweries. *Letters in applied microbiology*, 53(6), 649-655.https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2011.03157.x

Gutierrez-Barrutia, M. B., Cozzano, S., Arcia, P., y Del Castillo, M. D. (2022). In Vitro Digestibility and Bioaccessibility of Nutrients and Non-Nutrients Composing Extruded Brewers' Spent Grain. *Nutrients*, 14(17), 3480.https://doi.org/10.3390/nu14173480

Javanbakht, V., Alavi, S. A., y Zilouei, H. (2014). Mechanisms of heavy metal removal using microorganisms as biosorbent. *Water Science and Technology*, 69(9), 1775-1787.https://doi.org/10.2166/wst.2013.718

Khoddami, A., Wilkes, M. A., y Roberts, T. H. (2013). Techniques for analysis of plant phenolic compounds. *Molecules*, 18(2), 2328-2375.https://doi.org/10.3390/molecules18022328

Komarek, R. J., Gardner, R. M., Buchanan, C. M., y Gedon, S. (1993). Biodegradation of radiolabeled cellulose acetate and cellulose propionate. *Journal of applied polymer science*, *50*(10), 1739-1746.https://doi.org/10.1002/app.1993.070501009

Llimós, J., Martínez-Avila, O., Marti, E., Corchado-Lopo, C., Llenas, L., Gea, T., y Ponsá, S. (2022). Brewer's spent grain biotransformation to produce lignocellulolytic enzymes and polyhydroxyalkanoates in a two-stage valorization scheme. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 12(9), 3921-3932.https://doi.org/10.1007/s13399-020-00918-4

Lynch, K. M., Steffen, E. J., y Arendt, E. K. (2016). Brewers' spent grain: a review with an emphasis on food and health. *Journal of the Institute of Brewing*, 122(4), 553-568.https://doi.org/10.1002/jib.363

McCarthy, A. L., O'Callaghan, Y. C., Piggott, C. O., FitzGerald, R. J., y O'Brien, N. M. (2013). Brewers' spent grain; bioactivity of phenolic component, its role in animal nutrition and potential for incorporation in functional foods: a review. *Proceedings of the Nutrition Society*, 72(1), 117-125.https://doi.org/10.1017/S0029665112002820

Robertson, J. A., I'Anson, K. J., Treimo, J., Faulds, C. B., Brocklehurst, T. F., Eijsink, V. G., yWaldron, K. W. (2010). Profiling brewers' spent grain for composition and microbial ecology at the site of production. *LWT-Food Science and Technology*, 43(6), 890-896.https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.01.019

Singleton, V.L.; Orthofer, R. y Lamuela-Raventos, R.M. (1999). Analysis of Total Phenols and Other Oxidation Substrates and Antioxidants by Means of Folin-Ciocalteu Reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152-178.https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1

Verni, M., Pontonio, E., Krona, A., Jacob, S., Pinto, D., Rinaldi, F., Verardo, V, Díaz-de-Cerio, E., Coda, R. y Rizzello, C. G. (2020). Bioprocessing of brewers' spent grain enhances its antioxidant activity: Characterization of phenolic compounds and bioactive peptides. *Frontiers in Microbiology*, 11, 1831.https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01831

Villa, C. I. C., y Tovar, C. D. G. (2021). Bagazo de malta (BSG): Biorresiduo con potencial aplicación a nivel funcional, material y energético. *Prospectiva*, 19(1).https://doi.org/10.15665/rp.v19i1.2472

Wang, F., y Nishino, N. (2008). Effect of aerobic exposure after silo opening on feed intake and digestibility of total mixed ration silage containing wet brewers grains or soybean curd residue. *Grassland science*, 54(3), 164-166.https://doi.org/10.1111/j.1744-697X.2008.00118.x

Xiros, C., y Christakopoulos, P. (2012). Biotechnological potential of brewers spent grain and its recent applications. *Waste and Biomass Valorization*, 3, 213-232.https://doi.org/10.1007/s12649-012-9108-8

Formulación, aceptabilidad y capacidad antioxidante de panes libres de gluten elaborados con harinas funcionales

Generoso, Silvina[1]; Lescano, Natalia[1];Vittar, Esteban[1]; Costa Macías, Karina[1];Fabiani, Gisela[1]; Macías, Sara[1].

(1) Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero. generoso@unse.edu.ar, natylescano@hotmail.com,estebanvittar@gmail.com, karyhk7@gmail.com, gisyfaby@yahoo.com.ar, magui_macias@yahoo.com.ar

RESUMEN

Las tendencias de alimentación están cambiando; bienestar y salud son aspectos relevantes para el consumidor, sumado a la importancia socio económica de otorgarle valor agregado a materias primas, dan relevancia a este trabajo. Se diseñaron tres formulaciones de panes con harinas de arroz, chañar, mistol y habas; una de ellas con harina de maíz y se midió la capacidad antioxidante de los mismos in-vitro frente al radical DPPH(1,1-difenil-2-picrilhidracilo) y se comparó con un pan testigo libre de gluten. Se evaluaron la aceptabilidad y preferencia de los panes.

Los resultados mostraron un contenido de fenoles totales entre 260 y 330mg EAG/100g siendo más alta la formulación que contenía mayor proporción de harina de chañar. Se observó en los tres panesuna buena actividad antioxidante y posibleefecto sinérgico en el uso combinado de las distintas harinas.Los tres prototipos de panes recibieron mejores puntuaciones que el pan control en aceptabilidad siendo la formulación con harina de maíz la preferida. El olor y el sabor fueron las características que los consumidores priorizaron.La incorporación de las harinas mencionadas elevó considerablemente la puntuación de la aceptabilidad global en panes respeto al control comercial con importante contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante.

Palabras claves: panes libres de gluten, harina de mistol, harina de chañar, compuestos fenólicos.

1. INTRODUCCIÓN

El incremento en el consumo de alimentos sin TACC (trigo, avena, cebada y centeno) se encuentra entre las principales tendencias que están modificando el horizonte de la industria alimentaria en los últimos años. Tendencia que obedece a distintas razones, entre ellasel aumento de personas diagnosticadas con enfermedad celíaca e intolerancia al gluten y la adherencia de un segmento de la población (consumidores generales preocupados por su salud) a dietas libres de gluten (LG) con el propósito de controlar el peso y ganar energía. Es por esto que se hace necesario incrementar los esfuerzos en investigación para identificar e incorporar ingredientes nutritivos que promuevan la salud.Los productos horneados de mayor consumo por la población mundial son: panes, galletas, tortillas, pizas, bizcochuelos, entre otros, de entre estos, los panes y las galletas, constituyen los principales vehículos para la mejora nutricional de alimentos de "consumo masivo" (Labuckas, Lamarque & Maestri, 2016). Por lo expuesto se aborda el diseño de panes, para afrontar situaciones nutricionales específicas, como así también para atender los cambios dietéticos de los consumidores y los consecuentes en la industria alimentaria.

Actualmente, los panes LG resultan suelen ser deficientes, comparados con sus homólogos con gluten, en términos de calidad y aceptabilidad sensorial.

En este sentido con la intención de emular las características sensoriales de panes con gluten se han incrementado las investigaciones dedistintos ingredientes dirigidas a mejorar la calidad global de los productos panificados LG.

Si bien la ingesta de pan no es indispensable para mantener un equilibrio nutricional adecuado, los hábitos de consumo de nuestro medio lo hacen un alimento de alta demanda. La panificación con ausencia de gluten ha obligado a los tecnólogos de alimentos a realizar reformulaciones y/o

adaptar formulaciones y procesos de fabricación para así poder obtener panificados partiendo de ingredientes diversos: derivados de cereales o leguminosas, con destacadas características funcionales, pero no siempre capaces de satisfacer las expectativas sensoriales de los consumidores. A su vez, el mercado de los productos LG se enfrenta a una serie de desafíos y retos, donde el análisis sensorial juega un rol preponderante en tratar de lograr características esperables.

Acorde a lo planteado se estudiaron materias primas derivadas de frutos del monte nativo con potencial nutricional (Escudero, Arellano & Mucciarelli, 2004) y funcional para intentar diversificar la oferta de alimentos saludables. Además, se pone énfasis en la evaluación de la aceptabilidad de los alimentos formulados para lograr un real consumo y adherencia a las dietas LG, por parte de quien la necesite.

Entre las especies arbóreas ampliamente difundidas en Santiago del Estero, se encuentran los géneros Ziziphus y Geoffroea. El chañar (Geoffroeadecorticans) (Ch) y el mistol (Ziziphus mistol) (M) son frutos subexplotados de leguminosas arbóreas, empleados ancestralmente por las comunidades rurales y aborígenes como recurso alimentario y como piensos para el ganado.

Varios autores (Felker& Guevara, 2003), informaron que los frutos de M son una importante fuente de nutrientes, por el alto contenido de azúcares del mesocarpio, el elevado contenido de lípidos y proteínas de sus semillas. Los frutos de M presentan taninos en el orden de 1000 mg de ácido tánico/100 g b.s. (Cardozo et al., 2011), mientras que para Ch se informan contenidos del orden de 844 mg de ácido tánico/100 g b.s. (Costamagna et al., 2013). Por otro lado, distintos autores (Cardozo et al., 2011; Costamagna et al., 2013; Costamagna et al., 2016) informan propiedades antioxidantes y antiinflamatorias para ambos frutos, con presencia de fitofármacos, carotenoides, ácido ascórbico y polifenoles, principalmente no flavonoides, con alta capacidad secuestrante de radicales libres (Generoso, et. al, 2019) e inhibidores de la peroxidación de lípidos. Del mismo modo, las habas (Vicia faba) (H) son una de las legumbres alimenticias más antiguas, es una legumbre ampliamente consumida en Sudamérica, de extenso uso en alimentación animal y que presenta una alta tolerancia a condiciones climáticas adversas (Schröder & Köpke, 2012). Por su alto contenido de lisina es un buen complemento a las proteínas de cereales. Asimismo presenta alto contenido fenólico y actividad antioxidante (Millar, Gallagher, Burke, Mccarthy & Barry-ryan, 2019, Generoso, 2019).El contenido de polifenoles totales de la harina de Chañar extraída con 70% acuosa/acetona (1,24 ± 0,03 g GAE/100 g DW) fue similar a la de harina de Z. mistol (1.19 ± 0.068 g GAE/100 g PS) (Cardozo et al., 2011).Además,Rufino et al. (2010) clasificaron los frutos según su contenido polifenólico de materia seca en el bajo (b100 mg GAE/ 100 g), medio (100-500 mg GAE/100 g) o alto (>500 mg GAE/ 100 g) categorías. Se consideraría que la harina de Chañar y mistol están en alta categoría. El consumo de alimentos que contienen compuestos fenólicos, principalmente taninos y flavonoides, se ha demostrado que está asociado con la posible prevención de enfermedades crónicas como el cáncer, aterosclerosis o enfermedad cardiovascular.

Los compuestos fenólicos de los frutos de mistol contenían principalmente flavonoides, mientras que los de los frutos de chañar comprendían principalmente ácidos fenólicos, en particular derivados del ácido hidroxicinámico. Estas afirmaciones refuerzan el valor de los frutos de mistol y chañar como fuente de componentes nutricionales y funcionales (Citadini et al.,2021).

En razón de lo planteado, la incorporación de harinas obtenidas de estos frutos en la fabricación de panes sería una buena alternativa para hacer llegar a la población celíaca una propuesta de valor nutritivo diferenciado (Lescano, et al 2018, Orrabalis, 2014).

Por tanto, el desafío está referido concretamente a lograr panes LG elaborados a base de harina de arroz con el agregado de ingredientes regionales, por el aporte de sustancias bioactivas y de notas sensoriales agradables que podrían conceder al producto final.

Los objetivos de este trabajo fueron: Formular panes libres de gluten elaborados con harinas de chañar, mistol y habas en distintas combinaciones, cuantificar fenoles totales y capacidad antioxidante en los panes formulados y evaluar la aceptabilidad sensorial de los panes y establecer el orden de preferencia.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó para la elaboración de los panes formulados harina de arroz y de maíz comerciales, previa verificación de composición del rótulo. Las HH fueron provistas por la cooperativa Cauqueva de la Provincia de Jujuy.
La HMa comercial (marca Gran diet) cuya composición en base húmeda es: proteína 7 %; lípidos 3,8 %; hidratos de carbono 76 % y fibra dietaria 7,2%, 12% de humedad.
Para la obtención de las harinas, los frutos de chañar y mistol fueron preparados para su extracción según Rosas-Hernández *et al*. (2017). Las HM y HC se elaboraron a partir de los frutos seleccionados y limpios, los cuales fueron secados, a 48±2 ºC en estufa de aire forzado (DALVO, DHR/F/I) a una velocidad de 2 m/s por un periodo de 340 h. Posteriormente, fueron molidos durante 90 s a 2900 rpm en un equipo de acción mecánica a cuchillas CROYDON. El endocarpio fue separado del mesocarpio y epicarpio por medio de un tamiz ASTM 8 (2380 µm). El producto de la molienda del endocarpio fue tamizado a través de un conjunto de tamices ASTM (35 y 80), la fracción utilizada fue la retenida en el tamiz ASTM 80 (R80) con un tamaño de partículas entre 500 y 177 µm. Las harinas obtenidas fueron envasadas al vacío (-690 mmHg) en bolsas de 200 µm y almacenadas a temperatura ambiente (24°C). Las condiciones de almacenamiento fueron especialmente cuidadas dada la alta higroscopicidad de las harinas, debido a su alto contenido de azúcares, de manera de asegurar la disponibilidad de la materia prima a lo largo del tiempo.
Los ensayos se llevaron a cabo en la Planta Piloto de Procesamiento de la Facultad de Agronomía y Agroindustrias.

1.1 *Formulación de panes LG*

Los panes fueron diseñados acorde a los límites tecnológicos, sensoriales y nutricionales establecidos en estudios previos, datos no mostrados (Lescano, 2020). A tal efecto se realizaron formulaciones teóricas de premezclas sustituiyendo hasta un 20 % de la harina de arroz con distintas cantidades de harinas de chañar, mistol y habas. Estas premezclas fueron ensayadas hasta encontrar las apropiadas para el presente estudio.

1.2 *Procedimiento de elaboración de panes*

Las 3 premezclas se hidrataron con agua y se dejaron reposar 5 minutos, luego se incorporaron el resto de los ingredientes junto a la levadura activada previamente. Se mezcló en batidora planetaria durante 10 minutos y se llevó la preparación a moldes de silicona previamente identificados por formulación, para fermentar los panes, se dispusieron los moldes en cámara de fermentación por 90 minutos a 36°C, cuya humedad relativa fue del 98%, finalmente los panes fueron horneados en horno eléctrico durante 18 minutos a 190°C. Luego de horneados se desmoldaron a temperatura ambiente y se envasaron en bolsas de polipropileno de 80 micras y se almacenaron a 5 °C.

1.3 *Determinación de Fenoles Totales por el Método de Folin-Ciocalteu*

El método de Folin-Ciocalteu se basa en la capacidad de los fenoles para reaccionar con agentes oxidantes. El reactivo de Folin-Ciocalteu contiene molibdato y tungstato sódico, que reaccionan con cualquier tipo de fenol, formando complejos fosfomolíbdico-fosfotúngstico. La transferencia de electrones a pH básico reduce los complejos fosfomolíbdico-fosfotúngstico en óxidos, cromógenos de color azul intenso, de tungsteno (W_8O_{23}) y molibdeno (Mo_8O_{23}), siendo proporcional este color al número de grupos hidroxilo de la molécula. Para esta prueba se realizó el micrométodo modificado (Tawaha et al, 2007). Se construyó una curva de calibración de Ácido Gálico, usando una solución patrón de 500 mg/L (concentración).
Las mediciones en el espectro (HITACHI U1900) a 765 nm. La concentración de fenoles en las muestras se calculó en base a la curva de calibración y se expresó como mg equivalentes de Ácido Gálico/ 100 gramos de muestra.

1.4 *Método de decoloración de DPPH (1,1 – difenil-2-picrilhidracilo)*

Para la búsqueda de agentes atrapadores de radicales libres se empleó el bioensayo “in vitro” del radical DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidracilo) de acuerdo a lo reportado por Tapia *et al* (2004).
Se prepararon soluciones etanólicas de las muestras a ensayar a concentración de 100, 50 y 10 mg/L.
Este ensayo se fundamenta en que el radical DPPH (Sigma-Aldrich), de color violeta intenso, al ser capturado pierde su color característico.

% decoloración= (1 – Ac/ Ab)*100 %

Donde: Ac es la absorbancia del compuesto y Ab es la absorbancia del blanco de ensayo (control).

1.5 *Ensayos sensoriales*

1.5.1 Nivel de agrado.
Para conocer la aceptación de los panes por los consumidores se llevó a cabo un ensayo de aceptabilidad global. Como el desarrollo de los panes está destinado a celiacos y población con interés en productos LG, este ensayo fue realizado a escala piloto con individuos que manifestaron consumir productos libres de gluten. La edad de los evaluadores estaba en el rango de 30 y 60 años.

Los panes en estudio fueron comparados con un pan comercial homologo para tener una referencia respecto de un pan ya instalado en el mercado (Sosa, 2011). El orden de presentación de las muestras de panes fue balanceado, sirviéndose cada muestra igual número de veces en cada orden de presentación. Los panes fueron codificados con números aleatorios de tres dígitos y servidos en bandejas descartables. Los participantes recibieron las muestras, el neutralizante y la planilla de evaluación individual. Para la evaluación se usó una escala de puntaje de 1 a 10 (Sosa, 2011). Los datos resultantes fueron sometidos al análisis de varianza, y se estableció el orden de preferencia por los productos a partir de la valoración de la aceptabilidad global.

1.5.2 Valoración individual de atributos.

Además, los consumidores evaluaron algunas características sensoriales de los panes expresando su agrado respecto del sabor, olor y la apariencia. Este último atributo lo evaluaron mediante los descriptores color de la corteza y color de la miga. Se usó una planilla de evaluación con escala hedónica de 5 puntos correspondiendo a 1 "me disgusta mucho" y 5 a "me gusta mucho". Este ensayo fue aplicado con el propósito de entender cuáles son los atributos de un producto que más impactan en elnivel de agrado, cuáles pueden ser mejorados y modificados para aumentar la aceptación del consumidor. Se trabajó a un nivel de significación del 5%. Para la comparación de promedios, cuando se detectaron diferencias significativas, se utilizó el método de mínima diferencia significativa de Fisher (MDS).

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 Formulación de panes

En la Tabla 1 se presenta el detalle de las proporciones de los ingredientes utilizados en los distintos prototipos de panes los que fueron estudiados frente a un pan control (C) tipo de molde marca comercial Dimax.
Tabla 1. Relación porcentual de las distintas harinas en las formulaciones previas al horneado.

Muestra	**A (%)**	**H (%)**	**Mezcla (%)**		**Ma**
			M	**CH**	
F1	29,9	10,5	0,4	12,6	-
F2	22,7	12,3	0,8	9,2	-
F3	20,9	10,5	0,8	9,2	3,7

* Otros Ingredientes: Levadura, Ácido cítrico, Albúmina en polvo, Goma Xántica, margarina, Sal, agua.

3.2. Determinación de Compuestos Fenólicos totales y Actividad Antioxidante

En la tabla 2 se muestran los contenidos de polifenoles encontrados en las distintas formulaciones. Acorde a los resultados mostrados no se observan diferencias significativas en el contenido de polifenoles totales éntrelas formulaciones 2 y 3, siendo ambos contenidos significativamente menores F1, cuya formulación muestra mayor cantidad de chañar que las otras.

Tabla 2. Fenoles totales y capacidad atrapadora de DPPH de muestras.

Muestra	**Fenolestotales (mg EAG/100g)**	**Actividad antioxidante % captura del radical DPPH ***		
		100 mg/L	**50 mg/L**	**10 mg/L**
F1	329,8±25,3	97,8	72,7	34,3

F2	262,8±7,3	87,1	56,9	29,3
F3	260,6±12,4	93,7	96,7	35,2
Quercetina		92,4	92,2	91,1

Los datos se expresan como ± desviación estándar (n = 4). EAG: equivalente de ácido gálico. *Los valores de porcentaje de decoloración del radical DPPH están corregidos considerando al estándar quercetina con un valor de 100% de capacidad antioxidante.

Coincidentemente la capacidad antioxidante de F1 resultó mayor en la dilución 100 mg/L. Sin embargo, para la dilución 50 mg/L F3 demostró mayor capacidad antioxidante que las otras. Si bien F3 presenta el menor contenido de compuestos fenólicos, los resultados de actividad antioxidante nos permiten inferir que existen otros compuestos con actividad antioxidante en la composición de estos panes además de los polifenoles. Queda claro que cuando hay baja concentración de las muestras (10 mg/L en ensayo de DPPH) la capacidad antioxidante cae abruptamente en las tres formulaciones, por debajo de valores de 50%, y se consideran entonces a esta concentración sin capacidad atrapadora.

A pesar de que en trabajos anteriores se describe una disminución notable en el contenido de fenólicos y taninos probablemente por acción del calor (Costamagna, et al, 2013), si tenemos en cuenta datos de composición de compuestos fenólicos en las diferentes harinas utilizadas y las proporciones empleadas, se observaríaun efecto sinérgico en el uso de las harinas como mistol, chañar y habas. El agregado de otros ingredientes en la formulación, podrían influir también en los resultados mostrados.

En conclusión, los resultados sugieren que los panes formulados con harinas de mistol y chañarcomo fuente de antioxidantes naturales convierten a estos panes en alimentos funcionales.

3.3.Nivel de agrado

La Tabla 3 muestra los resultados de aceptabilidad para los panes en estudio, dos de ellos presentaron puntuaciones de aceptación global superior a 7 (en una escala de 1 a 10) mientras que el control comercial muestra valores muy inferiores.

Tabla 3. Grado de aceptabilidad de las distintas formulaciones de panes LG.

Panes libres de Gluten							
F1		**F2**		**F3**		**C**	
X	DS	X	DS	X	DS	X	DS
6	1.2	7,3	1.2	7,9	1.5	3,2	1.7

Si bien, el pan F3 fue el que obtuvo mejores puntuaciones, no se detectaron diferencias significativas en la aceptabilidad global entre los panes F2 y F3 (ambos con igual proporción de HCh y HM) lo que indicaría que el agregado de harina de maíz (F3) no es determinante de la aceptabilidad. Se observa que F1, cuya formulación contiene mayor proporción de HCh obtuvo una puntuación de 6, menor a las formulaciones F2 y F3, posiblemente relacionado a la intensidad del olor y sabor sui-generis de las harinas autóctonas utilizada. Es de remarcar el bajo puntaje del pan control, lo que valida la importancia de buscar nuevas alternativas para mejorar sensorialmente los panes destinados al grupo de consumidores celíacos.

Los puntajes obtenidos para las tres formulaciones, muestran que estos panes son mejor aceptados que los comerciales del mercado, demostrando que las incorporaciones de las harinas estudiadas influyen en el agrado, lo cual se atribuye a las notas sensoriales de impacto que poseen. Acorde a las puntuaciones obtenidas la formulación F3 fue la preferida. Siendo el orden de los puntajes F3>F2>F1>C

3.4.Valoración de atributos

Luego de realizar correlaciones entre la aceptabilidad global y las características sensoriales evaluadas con escala hedónica de 5 puntos, se encontró que tanto la apariencia como el olor y el sabor del pan C fueron determinantes de su bajo puntaje (3) en el nivel de agrado o aceptabilidad.

Apariencia: El 62,5% de los consumidores expresó que en mayor o menor medida le disgusta la apariencia del pan C.

F1 fue el mejor valorado por su apariencia y al igual que F2 gustaron por el color de la miga en igual proporción, sin embrago la corteza de F1 fue mejor valorada respecto de F2.

Olor: Respecto del Olor, analizado por el mismo grupo de personas, se observó que al 50 % de los consumidores le disgusta el olor del pan C, al 25% poco y al otro 25% mucho. En cuanto a los panes F1, F2 y F3 se observó que a más del 75% de los evaluadores les gustó el olor de las tres formulaciones, y a solo un 12,5% les disgustó un poco. Es importante resaltar que el olor fue la característica de F3, F2 y F1 respectivamente mejor puntuada.

Tabla 4.Valoraciones del atributo olor.

OLOR	F1	F2	F3	C
Gusta Mucho	25	50	**75**	12,5
Gusta Poco	62,5	25	12,5	25
Indiferente	-	12,5		12,5
Disgusta Poco	12,5	12,5	12,5	25
Disgusta Mucho				25

Sabor: Respecto de las Formulaciones F1, F2y F3 el agrado por el sabor y el olor es directamente proporcional a la aceptabilidad manifestada por los consumidores, sin embargo, no se encontró una correlación directa entre el agrado por el color de la corteza y la miga con la aceptabilidad global, lo que nos permite inferir que el olor y el sabor son las características que los consumidores priorizan a la hora de manifestar su agrado. Losatributos percibidos con el sentido del gusto tienen una mayor influencia sobre la selección y aceptación de los alimentos e incluso son más importantes que los atributos evaluados con los otros sentidos, lo que es coincidente con lo encontrado en este estudio.

4. CONLUSIONES

La actividad antioxidante encontradas en las tres formulaciones tiene interés desde el punto de vista tecnológico y nutricional. El aprovechamiento de materias primas no tradicionales con alto contenido de compuestos fenólicos presupone la reducción del uso de aditivos con la consecuente obtención de alimentos más saludables y además considerados alimentos funcionales. Con esto se logra la diversificación de los usos de los frutos regionales y sus derivados dando mayor valor agregado a los mismos.

La incorporación de las harinas mencionadas a las distintas formulaciones elevó considerablemente la puntuación de la aceptabilidad global en panes respeto al control comercial.

5. BIBLIOGRAFÍA

Ali, M.A., Halim M.A. (2013). *Bread made from wheat flour and white sesame flour in presences of natural improver.*PakistanJournalofNutrition. 12(4):353-355.

CAA. (2004). *Código Alimentario Argentino. Capítulo 5*, art.235 quinto.

Cardozo, M.L. ; Ordoñez, R. M.; Alberto, M. R.; Zampini, I. C.; Isla, M. I. (2011). *Antioxidant and anti-inflammatory activity characterization and genotoxicity evaluation of Ziziphus mistol ripe berries, exotic Argentinean fruit. Food Research International*, *44*(7), 2063–2071.

Cardozo, M. L., Ordoñez, R. M., Zampini, I. C., Cuello, A. S., Dibenedetto, G., & Isla, M. I. (2010). *Evaluation of antioxidant capacity, genotoxicity and polyphenol content of non conventional foods*: Prosopis flour. *Food Research International*, *43*(5), 1505–1510.

Cori de Mendoza, M. E.,E. Pacheco-Delahaye,E. Sindoni. (2004). *Efecto de la suplementación de galletas dulces tipo oblea con harina desgrasada de girasol sobre las propiedades fisicoquímicas y sensoriales.*Revista de la Facultad de Agronomía (UCV). 30(2):109-122.

Chim-Rodríguez, A.,J. López-Luna, D. Betancur-Ancona. (2003) *Incorporación de fracciones de almidón primario y secundario de CanavaliaensiformisL. y Phaseoluslunatus L. en galletas.*Acta CientificaVenezolana. 54(2):138-147.

Cittadini M. C., García-Estévez I., Escribano-Bailón T., Bodoira Romina M., Barrionuevo D., Maestri D.(2021)*Nutritional and nutraceutical compounds of fruits from native trees (Ziziphus mistol and Geoffroeadecorticans) of the dry chaco forest.*Journal of Food Composition and Analysis.Vol. 97. 103775.

Costamagna, M. S., Ordoñez, R. M., Zampini, I. C., Sayago, J. E., & Isla, M. I. (2013) *Nutritional and antioxidant properties of Geoffroea decorticans, an Argentinean fruit, and derived products (flour, arrope, decoction and hydroalcoholic beverage*). Food Research International, 54(1), 160–168.

Costamagna, M. S., Zampini, I. C., Alberto, M. R., Cuello, S., Torres, S., Pérez, J., Quispe, C., Schmeda-Hirschmann, G., & Isla, M. I. (2016) *Polyphenols rich fraction from Geoffroea*

*decorticans fruits flour affects key enzymes involved in metabolic syndrome, oxidative stress and inflammatory process.*Food Chemistry, 190, 392–402.

Dairou, V. and Sieffermann, J. (2002) *A Comparison of 14 Jams Characterized by Conventional Profile and a Quick Original Method, The Flash Profile.* Journal of Food Science 67(2):826-834.

Delarue, J. (2015)*Flash Profile, its Evolution and uses In Sensory and Consumer Science. Applications In New Product Development and Consumer Research.* A volume In Woodhead Publishing Series In Food Science, Technology and Nutrition. 121–151 P.

Diaz L. G., P.G. Tarifa, S. Olivera, F. L. Gerje, M. B. Benítez, P. H. Ercoli. (2014) *Alimentos: historia, presente y futuro.* Diseño editorial Renata Kándico, Gastón Genovese www.estudiolate. 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos. Aires: Ministerio de Educación de la Nación. 202 p.: SBN 978-950-00-1048-1.

Espinoza Manfugas, J..(2007) *Evaluación Sensorial de los Alimentos.* Edición: Dr. C. Ra˙l G. Torricella Morales. Ed. Universitaria. La Habana.Cuba.http://revistas.mes.edu.cu/greenstone/collect/repo/import/repo/20120103/9789591605399.pdf

Fabiani, G.,H. J. Boggetti, B. López de Mishima. (2005) *Caracterización de harinas de algarrobo de la región noroeste de la República Argentina.* En 6º Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos (6º SLACA)**.** 7-10 Novembro. Universida de Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, SP, Brasil.

FAO/OMS/UNU. (1985)*Informe de una Reunión Consultiva Conjunta FAO/OMS/UNU de Expertos*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-Organización Mundial de la Salud-Universidad de las Naciones Unidas. Necesidades de energía y de proteínas. OMS, Serie de Informes Técnicos, Nº 724. Ginebra, Suiza. http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/40157/2/WHO_TRS_724_%28part2%29_spa.pdf

FAO/WHO. (1991) *Food and Agriculture Organization of the United Nations-World Health Organization. Protein quality evaluation.*(Report of the Joint FAO/WHO Expert Consultation).FAO Food and Nutrition Paper, Nº 51. Rome, Italy.

FELKER, P. y GUEVARA, J. C. 2003. *Potential of commercial hardwood forestry plantations in aridlands—an economic analyses of Prosopis lumber production in Argentina and the United States.*Forest Ecology and Management, 186, 271-286

Fernández, A.,P. Sosa, D. Setton, V. Desantadina, M. Fabeiro,M. I. Martínez, N. Piazza, P. Casavalle. (2011)*Calcio y nutrición*. Buenos Aires, Argentina: Comité Nacional de Nutrición, Sociedad Argentina de Pediatría. http://www.sap.org.ar/docs/calcio.pdf

Freyre, M., E.Astrada, C. Blasco, C. Baigorria, V. Rozycki, C. Bernardi. (2003) *Valores nutricionales de frutos de vinal (Prosopisruscifolia): consumo humano y animal.* Ciencia y Tecnología Alimentaria [en linea] [Fecha de consulta: 11 de agosto de 2013] <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72440106> ISSN 1135-8122.

García, M. (2012) *La influencia del tipo de productor en la sustentabilidad de los cultivos. El caso de la soja en Santiago del Estero.* Tesis de Maestría. Escuela de Posgrado, Facultad Regional Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

Generoso S, Costa K, Rosas D, Lescano, N & Macias S (2019)*Leguminous Flour from the Native Argentinian Forest, Their Contribution to Antioxidant Defense.* Food Sci Nutr Res.; 2(1): 1-5.

Gómez, M.H. (1985*) Development of a food of intermediate moistness from extracts of corn and soybean.*Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 35(2):306-314.

González-Bermúdez, C. A.,Frontela-Saseta, C., Peso-Echarri, P., López-Nicolás, R. Martínez-Graciá, C. (2011)*Empleo de fórmulas infantiles antirregurgitación en lactantes. Efecto sobre la disponibilidad mineral.* Revista Chilena de Nutrición. 38(4):482-490.

González-Galán, A.,A. Duarte-Corrêa, C. M. Patto de Abreu, M. de F. Piccolo-Barcelos. (2008) *Caracterización química de la harina del fruto de Prosopisspp. procedente de Bolivia y Brasil.* Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 58(3):309-315.

Granito, M.,Valero, Y.,Zambraro, R. (2010) *Desarrollo de productos horneados a base de leguminosas fermentadas y cereales destinados a la merienda escolar.* Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 60(1):85-92.

Gutkoski, L. C.,J. Bonamigo, M. de Almeida,D. Teixeira, M. de Freitas, P.Ivone. (2007).

Desenvolvimento de barras de cereais à base de aveiacom alto teor de fibra alimentar. Ciência e Tecnologia de Alimentos (Brasil). 27(2):355-363.

Josse, J; Pagés, J. y Husson, F. (2008)*Testingthesignificanceofthe RV coefficient. Computational statistics and data analysis.* 53:82-91.

Kazda, M., P. Weilgony. (1988) *Seasonal dynamics of major cations in xylem sap and needles of Norway spruce (Piceaabies L. Karst.) in stands with different soil solution chemistry*. Plant & Soil 110(1): 91-100.

Khan Akmal, M. (1981) *Nutritional value of cereal in relation to human need.*PakistanJournalofAgriculturalResearch. 2(3):141-146.

Lassa, M.S. (2008) *Evaluación de las propiedades físicas y disponibilidad de minerales de expandidos fortificados, elaborados en base a maíz y soja.* Tesis de Maestría. Instituto de Tecnología de Alimentos, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.

Lescano, N (2020) *Propiedades texturales, sensoriales y nutricionales de productos horneados formulados a base de harinas compuestas de chañar, mistol y habas*. Tesis Doctoral. Instituto de Ciencia y tecnología de Alimentos, Facultad de Agronomía y agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Santiago del Estero, Argentina.

Lopez-Garcia, E., M.B. Schulze, J.B. Meigs, J.E. Manson, N. Rifai, M.J. Stampfer. (2005) *Consumption of trans fatty acids is related to plasma biomarkers of inflammation and endothelial dysfunction.*J Nutr; 135: 562-566.

Margalef, M. I., S. L. Tóffoli, V. E. Burgos, A. Campos, G. A. Valdez-Clinis, M. J. Jiménez. (2012)*Algarroba negra (Prosopisnigra): caracterización físico-química y elaboración de productos dietéticos.* Revista de la Facultad de Ciencias de la Salud (Universidad Nacional de Salta, Argentina).1(2):13-19.

Peterson G., D. Aguilar, M. Espeche, M. Mesa, P. Jáuregui, H. Díaz, M. Simi, M. Tavella. (2004) *Ácidos grasos trans en alimentos consumidos habitualmente por los jóvenes en Argentina*Arch. Argent. Pediatría. v.102 n.2.

Prokopiuk, D.,G. Cruz, N. Grados, O. Garro, A. Chiralt. (2000)*Estudio comparativo entre frutos de Prosopis alba y Prosopispallida.* Multequina. 9(1):35-45.

Prokopiuk, D.B..(2004) *Sucedáneo del café a partir de algarroba (Prosopis albaGriseb).* Tesis Doctoral. Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

Rosas-Hernández, A., Maldonado-Garfia, C., Centeno-Rodríguez, M. A. C., Abraham-Juárez, M. R., & Cerón-García, A. (2017). *Efecto en la capacidad antioxidante, fenoles y flavonoides totales del pan bolillo parcialmente sustituido con harina de fibra de mango.* Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos, 2, 15-20.

Rufino M, Alves R., De Brito E., Pérez-Jiménez J., Saura-Calixto F., Mancini-Filho J., (2010), *Bioactive compounds and antioxidantcapacitiesof 18 non-traditional tropical fruitsfromBrazil*, FoodChemistry, 121: 996–1002.

Sánchez, H. D., C. A.Osella, M.A. De La Torre, R. J. González, O.A. Sbodio. (1999)*Estudio nutricional relativo a proteínas, energía y calcio en niños que concurren a comedor escolar*. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 49(3):218-222.

Scrimshaw, N. S. (2005)*La fortificación de alimentos: una estrategia nutricionalindispensable.* Anales Venezolanos de Nutrición; 18(1):64-68. Versión impresa ISSN 0798-0752.

Schaafsma, G..(2000)*The Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score.*TheJournalofNutrition. 130(7):1865S-1867S.

Sosa, M. (2011)*Optimización de la aceptabilidad sensorial y global de productos elaborados con amaranto destinados a programas sociales nutricionales.*Tesis Doctoral. Universidad Nacional de La Plata. Pag 131.

Stone, H., J.L. Sidel, S. Oliver, A. Woolsey, R.C. Singleton. (1974) *Sensory evaluation by quantitative descriptive analysis.* Food Technology. 28:24-34.

Suárez-López,M.M., Kizlansky,L.B. López.(2006)*Evaluación de la calidad de las proteínas en los alimentos calculando el escore de aminoácidos corregido por digestibilidad.* Nutrición Hospitalaria. 21(1):47-51.

Sudha, M.L,A.K.Srivastava, R. Vetrimani, K. Leelavathi.(2007) *Fat replacement in soft dough biscuits: its implications on dough*

rheology and biscuit quality. Journal of FoodEngineering. 80(3):922-930.

Tapia, A.; Rodriguez, J.; Theoduloz, C.; Lopez, S.; Feresin, G.; Schmeda-Hirschmann, G. (2004). *Free radical Scavengers and Antioxidants from Baccharis grisebachii.* Journal of Ethnopharmacology. 95:155 – 161.

Tawaha, K.; Feras Q. A.; Mohammad G.; Mohammad M.; Tamam E.E. (2007). *Antioxidant activity and total phenolic content of selected Jordanian plant species*. Foodchemistry 104, 1372-1378.

Trevisson, M.(1992)*Evaluación nutricional de frutos de tres especies de algarrobos: Prosopis albavar. Panta, Prosopischilensis y Prosopisnigra, provenientes del Noroeste de la Provincia de Córdoba*. Tesis de Grado. Cátedra de Ecología, Facultad de Ciencias Exactas, Física y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

USDA (2011) *United States Department of Agriculture.National Nutrient Database for Standard Reference*.http://ndb.nal.usda.gov/

Varela, P. & Ares, G. (2014). *Novel Techniques In Sensory Characterization andConsumer Profiling*.Crc Press. Taylos and Francis Group. London, New York. 389 P.

WHO/FAO/UNU (2007) *World Health Organization-Food and Agriculture Organization of the United Nations-United Nations University. Protein and amino acid requirements in human nutrition.*(Report of a Joint WHO/FAO/UNU Expert Consultation). WHO Technical Report Series, Nº 935. Geneva, Switzerland.

Young, V.R. (1991) *Soy protein in relation to human protein and amino acid nutrition.*Journalofthe American DieteticAssociation. 91(7):828-835.

Zamora Utset, E. (2007) *Evaluación Objetiva de la Calidad Sensorial de Alimentos procesados.* Ciudad de La Habana: Editorial Universitaria. ISBN 978-959-16-0581-8

Zuleta, Á.M. J. Binaghi, C. B. Greco, C. Aguirre, L. De La Casa, C. Tadini, P. A.&Ronayne de Ferrer. (2012) *Diseño de panes funcionales a base de harinas no tradicionales.* Revista Chilena de Nutrición. 39(3):58-64.

Caracterización de una película biodegradable a base de alginato de sodio con agregado de un extracto vegetal antioxidante

Godoy, Mónica D.[1,2]; Farfán, Norma B.[2];Grigioni,Gabriela M.[3]

(1) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).
danielagodoy@outlook.com

(2) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.
nbfarfan@fi.unju.edu.ar

(3) Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.
grigioni.gabriela@inta.gob.ar

RESUMEN. El objetivo de este trabajo fue caracterizar y evaluar las propiedades mecánicas, antioxidantes y fisicoquímicas de películasbiodegradables a base de alginato de sodio con agregadode diferentes concentraciones de un extracto de *Mutisia friesiana (Asteraceae)*. Se analizó el espesor, el porcentaje de humedad y solubilidad, la resistencia a la tracción, el porcentaje de elongación a la ruptura, la actividad antioxidante y la opacidad de las películas. Se observó que el agregado del extracto vegetal redujo la solubilidad e incrementó la resistencia a la tracción,la opacidad y la capacidad antioxidante de las películas, pero no afectó su flexibilidad. Estos efectos se atribuyeron a las fuertes interacciones que ocurren entre los compuestos fenólicos presentes en el extracto y las cadenas poliméricas que forman la película. A pesar de estas interacciones, los compuestos fenólicos pudieron ejercer su acción antioxidante. Los resultados indican que la película de alginato de sodio con extracto de *Mutisia friesiana*podría utilizarse para recubrir alimentos con el objetivo de evitar o retardar procesos oxidativos.

ABSTRACT. This work aimed to characterize and evaluate the mechanical, antioxidant and physicochemical properties of edible films based on sodium alginate with the addition of different concentrations of an extract of *Mutisia friesiana (Asteraceae)*. The thickness, the percentage of moisture and solubility, the tensile strength, the percentage of elongation at break, the antioxidant activity, and the opacity of the films were analyzed. It was observed that the addition of the plant extract reduced the solubility and increased the tensile strength, opacity and antioxidant capacity of the films, but did not affect their flexibility. These effects were attributed to the strong interactions between the phenolic compounds in the extract and the polymeric chains that form the film. Despite these interactions, the phenolic compounds could be released into the environment and exert their antioxidant action. The results indicate that the sodium alginate film with *Mutisia friesiana* extract could be used to coat foods in order to prevent or delay oxidative processes.

Palabras claves: película biodegradable, extracto vegetal, antioxidantes, alginato de sodio.

Keywords: biodegradable film,plant extract, antioxidants, sodium alginate.

1. INTRODUCCIÓN

Una película o recubrimiento biodegradable es una capa delgada que se coloca o se forma directamente sobre la superficie de los alimentos(Mohamed *et al.*, 2020; Ribeiro*et al.*, 2021). Esta película cumple una función de barrera frente a agentes externos,brinda protección mecánica y preservala calidad de los alimentos. Además, puede extender la vida útil de los mismos ya que es capaz de regular la humedad, la migración de componentes disueltos, el intercambio de gases y las reacciones oxidativas (Díaz Montes y Castro Muñoz, 2021).La aplicación de películas o recubrimientos para la conservación de alimentos, como por ejemplo, el encerado de frutas y verduras, es una técnica quese ha utilizado durante siglos. En China, los recubrimientos biodegradablesse utilizan desde el siglo XII (Hassan *et al.*, 2018).

Los materiales empleados en la elaboración de las películas deben tener la capacidad de formar películas y revestimientos. Comúnmentelas películas se elaboran a partir de polímeros como proteínas, polisacáridos y lípidos(Kumar*et al.*, 2022).Estos generalmente se obtienen defuentes naturales (animales y vegetales), como los productos de desechode la pesca, la agricultura o la ganadería. Como consecuencia,una característica importante de las películas y recubrimientos es que son biodegradables y amigables con el medio ambiente y pueden emplearse para reducir el uso de plásticos (Hassan *et al.*, 2018; Kaur*et al.*, 2023).

En general, las películas basadas en polisacáridos presentan buenas propiedades de barrera contra gases, actuando como bloqueadores de oxígeno. Su principal desventaja es su ineficacia como barrera contra la humedad debido a su naturaleza hidrofílica. El quitosano, el alginato y las gomas son algunos de los polisacáridos más utilizados en la industria del envasado de alimentos (Ribeiro*et al.*, 2021). Por otro lado, las películas a base de proteínas son hidrofílicas,presentan barreras a la humedad de moderadas a bajas. En ambientes con alta humedad, el agua puede difundir en la película y producir la ruptura de las interacciones intermoleculares de las proteínas lo cualreduce la integridad de las películas. Ofrecen una excelente barrera a los compuestos hidrofóbicos como aceites y aromas y brindan alta resistencia mecánica (Kumar*et al.*, 2022).

Los recubrimientos pueden ser portadores de compuestos bioactivos, como agentes antipardeamiento, antimicrobianos, antioxidantes, etc. (Siripatrawan y Vitchayakitti, 2016;Choulitoudi *et al.*, 2017; Han*et al.*, 2018; Pedreiro *et al.*, 2021).Los compuestos antioxidantes naturalesobtenidos a partir de extractos vegetales, como las vitaminas, polifenoles y carotenoides, pueden ser utilizados como aditivos en la elaboración de películas (Kaur*et al.*, 2023).La liberación de estos componentes activos ayuda a detener o retardarel deterioro de los alimentos vinculado a procesos oxidativos, como el pardeamiento enzimático y la rancidez oxidativa (Flieger *et al.*, 2021).El deterioro de los alimentos tiene un importante impacto económico y generalmente está asociado a procesos oxidativos. En este contexto, las películas biodegradables con agregado de agentes antioxidantes se presentan como una opción para contribuir a solucionar el problema (Domínguez*et al.*, 2018). Sin embargo,la eficiencia de las películas con agregado de compuestos antioxidantes no depende solo de las características del compuesto antioxidante, sino también de las interacciones entre la matriz y los compuestos, e incluso las interacciones con el alimento mismo (Silva de Farias *et al.*, 2021).

Mutisia friesiana (Asteraceae) es un arbusto perenne originario del sur de Bolivia y noroeste de Argentina. Se lo conoce tradicionalmente como “chinchilcoma”, “chinchircoma colorado” y “romerillo” y su infusión se utiliza en la medicina popular como remedio para enfermedades respiratorias y dolores de estómago (Giberti, 1983; Viturro *et al.*, 1999). El extracto etanólico de esta especie presentó una alta concentración de compuestos fenólicos y buenas propiedades antioxidantes, por lo que puede considerarse una fuente de compuestos con actividad antioxidante con aplicación potencial en la industria alimentaria (Godoy *et al.*, 2022).

El objetivo de este trabajo fue caracterizar y evaluar las propiedades mecánicas, antioxidantes y fisicoquímicas de películas biodegradable a base de alginato de sodio con agregado de diferentes concentraciones de un extracto de *Mutisia friesiana (Asteraceae)*.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. *Obtención de los extractos*

Los ejemplares de *Mutisia friesiana (Asteraceae)* fueron recolectados en el mes de marzo en la localidad de Cianzo, ubicada 30 km al este de la ciudad de Humahuaca, a 3.539 m.s.n.m. (Jujuy, Argentina). Las partes aéreas se secaron en estufa a 30°C hasta alcanzar peso constante. Las plantas secas se trituraron en molinillo y posteriormente se tamizaron para obtener una fracción de tamaño de partícula comprendida entre 250 y 150 µm. Para la obtención de los extractos se empleó el método de extracción asistida con ultrasonido utilizando como solvente etanol (65%). La muestra y el solvente, en una relación de 1:20, se colocaron en un matraz y éste se introdujo en elbaño de ultrasonido(Sonicador Cole-Parmer 8890 Instrument, EE. UU). La extracción se realizó durante 15 min a temperatura ambiente, 80 W de potencia y una frecuencia de 47 kHz. Posteriormente los extractos se centrifugaron durante 20 min a 2500 rpm y el sobrenadante se filtró utilizando papel de filtro (Schleicher &

Schuell N°0859). Se evaporó el solvente a sequedad en estufa a 30°C y el extracto seco fue reconstituido en etanol (65%) a una concentración de 0,1g/mL. Este extracto concentrado se conservó refrigerado y protegido de la luz hasta el momento de realizar las películas.

2.2. *Análisis del extracto*

Se determinó el contenido fenólico total (FT) mediante el ensayo de Folin-Ciocaulteau (Singleton y Rossi, 1965) con algunas modificaciones. Se colocaron 100 µL de cada extracto (en concentraciones entre 0,5 y 0,0625 mg/mL) y 200 µL de reactivo Folin-Ciocalteau (10%) en microtubos tipo Eppendorf. Luego de 3 min se adicionó a la mezcla 800 µL de Na_2CO_3 (7,4%) y a continuación los microtubos se agitaron en vortex durante 30 s. La reacción se dejó en reposo por 60 min a temperatura ambiente y se midió la absorbancia a 760 nm por triplicado. Los valores se expresaron en mg eq. Ac. gálico/g de peso seco de *Mutisia friesiana* mediante una curva patrón de ácido gálico.

Por otro lado, se determinó la actividad antioxidante de los extractos. La actividad de captación de radicales libres de los extractos se evaluó siguiendo la metodología propuesta por Brand-Williams *et al.* (1995), con algunas modificaciones. A partir de cada extracto se realizó una serie de diluciones a cinco concentraciones diferentes (1, 0,5, 0,25, 0,125 y 0,0625 mg/mL). En los pocillos de una microplaca se colocaron 25 µL de cada dilución de los extractos y 200 µL de solución metanólica de DPPH (a una concentración tal que la absorbancia de la solución a 515 nm sea igual a 1). Luego de 30 min de incubación (en oscuridad y a temperatura ambiente) se midió la absorbancia a 515 nm (Espectrofotómetro de microplacas Epoch, BioTeK). La actividad antioxidante se expresó como el valor de la Concentración Efectiva 50 (EC50), correspondiente a la concentración de extracto necesaria para disminuir la absorbancia inicial de la solución de DPPH en un 50%.

2.3. *Elaboración de las películas*

Se prepararon soluciones al 1,5% de alginato de sodio en agua destilada con agregado de plastificante (glicerol: 25% p/p de alginato de sodio) e iones calcio como entrecruzante (1% p/p de alginato de sodio) utilizando una solución acuosa de $CaCl_2$. La mezcla se dejó en reposo durante 2 h y luego se calentó con agitación constante a 70°C durante 60 min. El gel formado se dejó enfriar a temperatura ambiente hasta 30°C y posteriormente se agregó el extracto de *Mutisia friesiana* a dos concentraciones diferentes: 3,5 y 7,0% p/p de alginato de sodio. La mezcla se agitó durante 20 min para asegurar una dispersión homogénea del extracto. A continuación, se colocó 25 g de los geles en cajas de Petri (9 cm dediámetro) y estas se secaron en estufa a 30°C. Las películas se retiraron de las cajas de Petri y se conservaron a 53% de HR hasta el momento de su análisis.Se utilizó una solución saturada de $Mg(NO_3)_2$para controlar la HR. Las películas elaboradas con concentraciones de 3,5 y 7,0% (p/p de alginato de sodio) de extracto se denominaron C1 y C2, respectivamente. Se obtuvo una película de control (C0) usando el mismo proceso, pero sin agregar el extracto.

2.4. *Espesor*

Se realizaron mediciones del espesor en cinco puntos aleatorios de la película utilizando un espesímetro Schwyz (Suiza) con precisión de 0,001 mm.

2.5. *Humedad y solubilidad*

La humedad y solubilidad se determinó por gravimetría(Santos *et al.*, 2022). Las películas se cortaron en cuadrados de 2 × 2 cm, luego se pesaron (P_0) y se secaron en estufa a 80 °C hasta peso constante (P_1). El porcentaje de humedad se calculó utilizando la ecuación:

$$\% \text{ Humedad} = [(P_0 - P_1)/P_0]*100 \quad (1)$$

Las películas secas se sumergieron en agua destilada a 25° C durante 1 h con agitación cada 15 min. Luego se retiraron del agua y se secaron en estufa a 80 °C hasta peso constante (P_2). El porcentaje de solubilidad se calculó a partir de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Solubilidad} = [(P_1 - P_2)/P_1]*100 \quad (2)$$

2.6. *Propiedades mecánicas*

Las propiedades mecánicas se midieron empleando un texturómetro marca Brookfield Modelo QTS texture Analyser (Inglaterra).La determinación se realizó deacuerdo a la norma ASTM D-882/10. Las películas se cortaronen tiras de 1,5 cm de ancho y 8 cm de longitud. Los extremos de las tiras se ubican sobre rectángulos

de cartulina mediante cinta doble adhesiva paramejorar la sujeción de las mordazas. El área final expuesta es de 5cm x 1,5 cm. Eltexturómetro se utilizó en el modo tracción con una velocidad de separación de las mordazas de10 mm/miny una separación inicial de 5 cm. Las condiciones de temperatura y humedad dentro del espacio donde se realizaron los análisis fueron 26 °C y HR 54%. Se calculó la resistencia a la tracción (T) y el porcentaje de alargamiento a la rotura (% ε) de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$T\ (MPa) = F_{max}/S \quad (3)$$

$$\% \varepsilon = (\Delta L/L_0)*100 \quad (4)$$

$$\Delta L = L_f - L_0 \quad (5)$$

donde F_{max}es la carga máxima (N), S es el área de sección transversal mínima inicial de la muestra (m^2), L_f es la longitud de la película al momento de la rotura (mm) y L_0 es la longitud inicial de la película (mm).

2.7. *Opacidad*

La opacidad (OP) se determinó siguiendo la metodología de Velásquez *et al.* (2022). Las películas se cortaron en tiras de 1 cmx 2cm y colocaron en el interior de una cubeta de cuarzo. Se midió la absorbancia (Abs) a 600 nm empleando un especrofotómetro (Spectrum SP1100). La determinación se realizó a temperatura ambiente. La opacidad se calculó utilizando la siguiente formula:

$$OP=Abs600/x \quad (6)$$

donde x es el espesor (mm).

2.8. *Actividad antioxidante de las películas*

La actividad antioxidante de las películas se evaluó de acuerdo con el ensayo de eliminación de radicales libres DPPH (Brand-Williams *et al.*, 1995). Se tomaron 10 mg de las películas y se disolvieron en 2 mL de agua destilada en vortex. Posteriormente, se colocaron 25 µL de la disolución de las películas en los pocillos de una microplaca y se agregó en cada pocillo 200 µL de solución de DPPH en metanol (a una concentración tal que la absorbancia de la solución a 515 nm sea igual a 1).La mezcla se incubó a temperatura ambiente durante 30 min en oscuridad. Al final de la reacción, se midió la absorbancia de la mezcla a 515 nm usando un espectrofotómetrode microplacas Epoch, BioTeK. La solución de DPPH libre de películas se utilizó como control en blanco y la solución de metanol se usó como referencia. La capacidad antiradicalaria (CA) se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$\% CA = [(Abs_{DPPH} - Abs_P)/Abs_{DPPH}]*100 \quad (7)$$

donde Abs_{DPPH} es la absorbancia de la solución de DPPH y Abs_P es la absorbancia de las muestras.

2.9. *Análisis estadístico*

El experimento se realizó bajo un diseño completamente al azar. Todos los ensayos se realizaron por triplicado. Los datos se expresan como media ± desviación estándar. Los datos se analizaron estadísticamente mediante análisis de la varianza (ANOVA) y se utilizó test de Tukey ($p<0,05$) para detectar diferencias entre los valores medios de las propiedades de las películas (SoftwareMicrosoft Excel 2013).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. *Análisis de los extractos*

Los valores de actividad antioxidante y compuestos fenólicos totales se muestran en la Tabla 1. Los extractos de *Mutisia friesiana* presentaron altos valores de actividad antioxidante. Esto se debe a la presencia de compuestos fenólicos en el extracto. Estudios realizados sobre la composición fitoquímica de algunas especies del género *Mutisia* reportaron metabolitos secundarios, tales como flavonoides, ácidos hidroxicinámicos y derivados del ácido clorogénico, entre otros (Daily *et al.*, 1988; Catalano *et al.*, 1995; Viturro *et al.*, 1999, 2003; Juárez & Mendiondo, 2003; Flores *et al.*, 2009; Chirinos *et al.*, 2013; Fernández-Galleguillos *et al.*, 2023). También se reportaron actividades biológicas, como antioxidante (Viturro *et al.*, 1999; Flores *et al.*, 2009; Chirinos *et al.*, 2013) y antibacteriana (Catalano *et al.*, 1998), las cuales se relacionaron con el contenido de compuestos fenólicos.

Tabla 1. Contenido de fenoles totales y actividad antioxidante (media ±desviación estándar) de los extractos de *Mutisia friesiana*.

CFT (mg EAG/g)	DPPH EC50 (µg/ml)
54,24 ± 3,17	31,40 ± 1,18

3.2. *Humedad y solubilidad*

Los valores de humedad y solubilidad de las películas se muestran en la Tabla 2. En general,

las películas mostraron bajos contenidos de humedad (menores al 20%).Las películas con agregado del extracto vegetal presentaronuna solubilidadaproximadamente un 38% menor ($p<0,05$) respecto de la película control. Esto podría deberse a la presencia de compuestos fenólicos en el extracto. Estos compuestosfavorecen el entrecruzamiento de las cadenas poliméricas de alginato, reduciendo la solubilidad (Kaewprachu *et al.*, 2018). Resultados similares fueron reportados por Santos*et al.* (2021) y Ju y Song (2020) quienes agregaron extractos de cáscara de cebolla morada en películas de alginato de sodio y extractos de cáscara de cebolla amarilla a películas a base de funoran, respectivamente. En ambos trabajos, los investigadores atribuyeron la disminución de la solubilidad de las películas a la interacción entre los compuestos fenólicos y las cadenas poliméricas. Dicha interacción reduce la disponibilidad de grupos hidroxilo para interactuar con moléculas de agua y en consecuencia la solubilidad se reduce (Santos*et al.*, 2021).La solubilidad es una característica que ayuda a determinar el tipo de producto en el que se puede aplicar una película. Las películas con menor solubilidad podríanaplicarse en alimentos frescos como frutas, productos cárnicos, lácteos y bebidas. Este tipo de productos con alto contenido de humedad requiere películas insolubles para mantener su integridad y calidad (Nogueira y Martins, 2019; Santos *et al.*, 2022).

3.3. *Propiedades mecánicas*

Los valores de T y % ε de las películas se muestran en la Tabla 2. La resistencia a la tracción y el porcentaje de alargamiento a la roturason características importantes relacionadas con la resistencia y flexibilidad de las películas.Se pudo observar qué, la adición del extracto vegetal incrementó significativamente ($p<0,05$) los valores de T respecto de la película control, aproximadamente en un 35%. El origen más probable de este efecto es el impacto de los polifenoles sobre la organización estructural y las interacciones de las cadenas de alginato que forman la red de la película. Resultados similares fueron informados por Aloui *et al.* (2021) en películas de alginato de sodio con agregado de extracto de nuez y por Silva de Farias *et al.* (2021) en películas de alginato de sodio con extracto de yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). Los investigadores concluyeron que este comportamiento se puede atribuir a las interacciones entre las cadenas poliméricas y los compuestos fenólicos presentes en el extracto dando como resultado matrices más cohesivas y flexibles.Por otro lado, los valores de % ε no presentaron diferencias significativas. El extracto vegetal no mostró efecto plastificante en las películas. Las dosis agregadas no modificaron la flexibilidad de las películas.

3.4. *Opacidad*

Las propiedades ópticas de las películas son importantes ya que determinan la apariencia general de la película y esta influye directamente en las características sensoriales del producto en el cual se aplican (Siripatrawan & Vitchayakitti, 2016; Ren et al, 2017).Los valores de opacidad de las películas se muestran en la Tabla 2. Las películas adicionadas de extractos vegetales mostraron una opacidad significativamente mayor($p<0,05$) respecto de la película control, es decir que fueron menos transparentes que ésta. Por otro lado, la opacidad de C2fuesignificativamente mayor a C1 ($p<0,05$), aproximadamente en un 17%.

Tabla 2. Valores (media ±desviación estándar) de espesor, humedad, solubilidad, resistencia a la tracción (T), porcentaje de elongación a la ruptura (% ε), actividad antioxidante (AA) y opacidad de las películas (OP).

Película	Espesor (µm)	Humedad (%)	Solubilidad (%)	T (MPa)	% ε	AA	OP
C0	70,80±4,83^{a}	19,37±0,42^{a}	36,22±1,67^{a}	7,11±0,46^{b}	4,20±0,89^{a}	3,44±0,55^{c}	0,58±0,03^{c}
C1	70,40±4,03^{a}	16,63±0,42^{b}	23,46±2,93^{b}	9,60±0,25^{a}	5,67±0,45^{a}	30,56±0,35^{b}	1,34±0,07^{b}
C2	70,60±5,71^{a}	16,51±0,16^{b}	22,19±1,33^{b}	9,27±0,31^{a}	4,83±0,49^{a}	47,93±0,90^{a}	1,57±0,04^{a}

C0: película sin extracto; C1: película con extracto al 3,5 (p/p de alginato de sodio); C2: película con extracto al 7,0% (p/p de alginato de sodio); Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas (p<0,05) entre los resultados.

Esto se debe a que los extractos poseen pigmentos, especialmente clorofilas, y esto otorgó una ligera coloración a las películas, que se incrementó con una mayor dosis de extracto.A pesar de esto, los valores fueron bajos, por lo cual las películas se consideraron transparentes. Alou*iet al.* (2021) reportaron valores similares en películas de alginato de sodio con agregado de extracto de nuez. Por otro lado, el incremento en la opacidad de las películas podría deberse a la presencia de los compuestos fenólicos en el extracto, que al interactuar con las cadenas de alginato forman una estructura más densa. Esto favorecería la actividad protectora de las películas ya que podrían disminuir el paso de luz y retardar procesos fotooxidativos en los alimentos (Zhang*et al.*, 2020; Aloui *et al.*, 2021).

3.5. *Actividad antioxidante*

Las propiedades antioxidantes de las películas evaluadas por el porcentaje de eliminación de radicales libres DPPH se presentan en la Tabla 2.
La película formulada sin la incorporación del extracto presentó una mínima actividad antioxidante.Investigaciones previas mostraron que el alginato de sodio presenta actividad antioxidante (Sellimi *et al.*, 2015; Kelishomi y *et al.*, 2016; Benslima *et al.*, 2021). Esta puede ser la razón por la que las películas sin agregado del extracto de *Mutisia friesiana* mostraron una baja actividad antioxidante.Se observó que actividad antioxidante de las películas adicionadas con extracto aumentó significativamente (p<0,05) respecto de la película control. Además,se observó un incremento significativo (p<0,05) de la actividad antioxidante de C2 respecto de C1, la cual fue aproximadamente un 56% mayor. Esta alta actividad antioxidante se debe a la presencia de compuestos fenólicos en el extracto.A pesar de las interacciones existentes entre los polifenoles con los componentes de las películas,esto no impidió que puedan ejercer su actividad antioxidante. Por lo tanto, el extracto *Mutisia friesiana*podría otorgar capacidad antioxidante a las películas para evitar que los alimentos se deterioren por oxidación.

4. CONCLUSIÓN

La incorporación del extracto de *Mutisia friesiana* en la formulación de la película modificó sus propiedades ópticas, mecánicas, fisicoquímicas y antioxidantes. El extracto promovió el incremento de la resistencia de la película sin modificar la flexibilidad. Por otro lado, redujo la solubilidad posibilitando su uso en alimentos con alta humedad. A pesar de que se establecieron fuertes interacciones entre los compuestos fenólicos y las cadenas poliméricas de alginato de sodio, esto no impidió que los mismos puedan ejercer su actividad antioxidante. El incremento de la dosis de extracto modificó la opacidad y la actividad antioxidante de las películas. Por lo tanto, aumentar la dosis estará supeditado ala necesidad de mejorar las propiedades antioxidantes. Sin embargo, se debe tener en cuenta que esto afectará la transparencia de las películas y puede tener efectos en el color de los productos sobre los cuales se aplicará. Las concentraciones de extracto evaluadas otorgaron una alta actividad antioxidante a las películas, por lo cual podrían emplearse en el recubrimiento de alimentos que requieran evitar o retardar procesos oxidativos.

5. REFERENCIAS

Aloui, H., Deshmukh, A. R., Khomlaem, C. y Kim, B. S. (2021). Novel composite films based on sodium alginate and gallnut extract with enhanced antioxidant, antimicrobial, barrier and mechanical properties. *Food Hydrocolloids*, 113, 106508. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106508

ASTM. (2000). D882-00. *Standard test methods for tensile properties of thin plastic sheeting*. Philadelphia: Standards American Society for Testing and Materials.

Benslima, A., Sellimi, S., Hamdi, M., Nasri, R., Jridi, M., Cot, D., ... y Zouari, N. (2021). The brown seaweed Cystoseira schiffneri as a source of sodium alginate: Chemical and structural characterization, and antioxidant activities. *Food Bioscience, 40*, 100873.https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100873

Brand Williams, W., Cuvelier, M. E. y Berset, C. L. W. T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT-Food

science and Technology, 28(1), 25-30. https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5

Catalano, S., Cioni, P. L., Flamini, G., De Feo, V. y Morelli, I. (1995). Chemical investigation of the aerial parts of *Mutisia acuminata*. *International journal of pharmacognosy*, 33(1), 73-74.https://doi.org/10.3109/13880209509088152

Catalano, S., Cioni, P. L., Panizzi, L. y Morelli, I. (1998). Antimicrobial activity of extracts of *Mutisia acuminata* var. acuminata. *Journal of ethnopharmacology*, 59(3), 207-209.https://doi.org/10.1016/S0378-8741(97)00113-X

Chirinos, R., Pedreschi, R., Rogez, H., Larondelle, Y. y Campos, D. (2013). Phenolic compound contents and antioxidant activity in plants with nutritional and/or medicinal properties from the Peruvian Andean region. *Industrial Crops and Products*, 47, 145-152.https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.02.025

Choulitoudi, E., Ganiari, S., Tsironi, T., Ntzimani, A., Tsimogiannis, D., Taoukis, P. y Oreopoulou, V. (2017). Edible coating enriched with rosemary extracts to enhance oxidative and microbial stability of smoked eel fillets. *Food packaging and shelf life*, 12, 107-113.https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2017.04.009

Daily, A., Seligmann, O., Nonnenmacher, G., Fessler, B., Wong, S. M. y Wagner, H. (1988). New chromone, coumarin, and coumestan derivatives from *Mutisia acuminata* var. hirsuta. *Planta medica*, 54(1), 50-52. https://doi.org/10.1055/s-2006-962430

Díaz Montes, E. y Castro Muñoz, R. (2021). Edible films and coatings as food-quality preservers: An overview. *Foods*, 10(2), 249-274. https://doi.org/10.3390/foods10020249

Domínguez, R., Barba, F. J., Gómez, B., Putnik, P., Kovačević, D. B., Pateiro, M., ... y Lorenzo, J. M. (2018). Active packaging films with natural antioxidants to be used in meat industry: A review. *Food research international*, 113, 93-101.https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.073

Fernández-Galleguillos, C., Jiménez-Aspee, F., Mieres-Castro, D., Rodríguez-Núñez, Y. A., Gutiérrez, M., Guzmán, L., ... y Forero-Doria, O. (2023). Phenolic Profile and Cholinesterase Inhibitory Properties of Three Chilean Altiplano Plants: *Clinopodium gilliesii* (Benth.) Kuntze [Lamiaceae], *Mutisia acuminata* Ruiz & Pav. var. hirsuta (Meyen) Cabrera, and *Tagetes multiflora* (Kunth)[Asteraceae]. *Plants*, 12(4), 819-833. https://doi.org/10.3390/plants12040819

Flieger, J., Flieger, W., Baj, J. y Maciejewski, R. (2021). Antioxidants: Classification, natural sources, activity/capacity measurements, and usefulness for the synthesis of nanoparticles. *Materials*, 14(15), 4135-4188. https://doi.org/10.3390/ma14154135

Flores, Y., Rodrigo, G., Mollinedo, P., Akesson, B., Sterner, O. y Almanza, G. R. (2009). A 5-methylcoumarin glucoside and a coumestan derivative from *Mutisia orbignyana*. *Revista Boliviana de Química,* 26(1), 21-26.

Giberti, G. C. (1983). Herbal folk medicine in northwestern Argentina: *Compositae. Journal of Ethnopharmacology, 7*(3), 321-341.https://doi.org/10.1016/0378-8741(83)90006-5

Godoy, M. D., Farfán, N. B., Viturro, C. I, Saluzzo, L. y Grigioni, G. M. (2022). Determinación de las condiciones de extracción de compuestos fenólicos con actividad antioxidante de *Mutisia friesiana (Asteraceae)*. Libro de resúmenes: VIII Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Provincia de Córdoba.498-499.

Han, Y., Yu, M. y Wang, L. (2018). Physical and antimicrobial properties of sodium alginate/carboxymethyl cellulose films incorporated with cinnamon essential oil. *Food Packaging and Shelf Life*, 15, 35-42. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2017.11.001

Hassan, B., Chatha, S. A. S., Hussain, A. I., Zia, K. M. y Akhtar, N. (2018). Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. *International journal of biological macromolecules*, 109, 1095-1107. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.097

Ju, A. y Song, K. B. (2020). Incorporation of yellow onion peel extract into the funoran□based biodegradable films as an antioxidant packaging material. *International Journal of Food Science & Technology*, 55(4), 1671-1678. https://doi.org/10.1111/ijfs.14436

Juárez, B. E. y Mendiondo, M. E. (2003). Flavonoids from *Mutisia acuminata*. *Pharmaceutical Biology*, 41(4), 291-292. https://doi.org/10.1076/phbi.41.4.291.15669

Kaewprachu, P., Amara, C. B., Oulahal, N., Gharsallaoui, A., Joly, C., Tongdeesoontorn, W., ... y Degraeve, P. (2018). Gelatin films with nisin and catechin for minced pork preservation. *Food Packaging and Shelf Life*, 18, 173-183. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.10.011

Kaur, J., Singh, J., Rasane, P., Gupta, P., Kaur, S., Sharma, N. y Sowdhanya, D. (2023). Natural additives as active components in edible films and coatings. Food Bioscience, 102689.https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102689

Kelishomi, Z. H., Goliaei, B., Mahdavi, H., Nikoofar, A., Rahimi, M., Moosavi-Movahedi, A. A., ... y Bigdeli, B. (2016). Antioxidant activity of low molecular weight alginate produced by thermal treatment. *Food chemistry, 196*, 897-902.http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.091

Kumar, L., Ramakanth, D., Akhila, K. y Gaikwad, K. K. (2022). Edible films and coatings for food packaging applications: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 20, 1-26.https://doi.org/10.1007/s10311-021-01339-z

Mohamed, S. A., El Sakhawy, M. y El Sakhawy, M. A. M. (2020). Polysaccharides, protein and lipid-based natural edible films in food packaging: A review. *Carbohydrate Polymers*, 238, 116178-116191. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116178

Nogueira, D. y Martins, V. G. (2019). Use of different proteins to produce biodegradable films and blends. *Journal of Polymers and the Environment*, 27, 2027-2039. https://doi.org/10.1007/s10924-019-01494-z

Pedreiro, S., Figueirinha, A., Silva, A. S. y Ramos, F. (2021). Bioactive edible films and coatings based in gums and starch: phenolic enrichment and foods application. *Coatings*, 11(11), 1393-1418.https://doi.org/10.3390/coatings11111393

Ren, L., Yan, X., Zhou, J., Tong, J. y Su, X. (2017). Influence of chitosan concentration on mechanical and barrier properties of corn starch/chitosan films. *International journal of biological macromolecules*, 105, 1636-1643.https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.02.008

Ribeiro, A. M., Estevinho, B. N. y Rocha, F. (2021). Preparation and incorporation of functional ingredients in edible films and coatings. *Food and Bioprocess Technology*, 14, 209-231. https://doi.org/10.1007/s11947-020-02528-4

Santos, L. G., Silva, G. F. A., Gomes, B. M. y Martins, V. G. (2021). A novel sodium alginate active films functionalized with purple onion peel extract (*Allium cepa*). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 35, 102096. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102096

Santos, L. G., Alves-Silva, G. F. y Martins, V. G. (2022). Active-intelligent and biodegradable sodium alginate films loaded with *Clitoria ternatea* anthocyanin-rich extract to preserve and monitor food freshness. *International Journal of Biological Macromolecules*, 220, 866-877. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.08.120

Sellimi, S., Younes, I., Ayed, H. B., Maalej, H., Montero, V., Rinaudo, M., ... y Nasri, M. (2015). Structural, physicochemical and antioxidant properties of sodium alginate isolated from a Tunisian brown seaweed. *International journal of biological macromolecules, 72*, 1358-1367.http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.10.016

Silva de Farias, N., Silva, B., de Oliveira Costa, A. C. y Müller, C. M. O. (2021). Alginate based antioxidant films with yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.): Characterization and kinetics of phenolic compounds release. *Food Packaging and Shelf Life*, 28, 100548.https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100548

Singleton, V. L. y Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158.https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144

Siripatrawan, U. y Vitchayakitti, W. (2016). Improving functional properties of chitosan films as active food packaging by incorporating with propolis. *Food Hydrocolloids*, 61, 695-702. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.06.001

Velásquez, P., Montenegro, G., Valenzuela, L. M., Giordano, A., Cabrera-Barjas, G. y Martin-Belloso, O. (2022). k-carrageenan edible films for beef: Honey and bee pollen phenolic compounds improve their antioxidant capacity. *Food Hydrocolloids, 124*, 107250.https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107250

Viturro, C., Molina, A. y Schmeda□Hirschmann, G. (1999). Free radical scavengers from *Mutisia friesiana (Asteraceae)* and *Sanicula graveolens (Apiaceae)*. *Phytotherapy Research*, 13(5), 422-424.https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1573(199908/09)13:5%3C422::AID-PTR462%3E3.0.CO;2-M

Viturro, C. I., Juana, R. y Maier, M. S. (2003). Antifungal methylphenone derivatives and 5-methylcoumarins from *Mutisia friesiana*. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 58(7-8), 533-540.https://doi.org/10.1515/znc-2003-7-815

Zhang, L., Liu, Z., Sun, Y., Wang, X. y Li, L. (2020). Effect of α-tocopherol antioxidant on rheological and physicochemical properties of chitosan/zein edible films. *Lwt*, 118, 108799.https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108799

Propiedades físicas, texturales y químicas de galletas enriquecidas con hidrolizado de quínoa

Gremasqui, Ileana de los A.[1]; Giménez, María A.[1]; Segundo, Cristina N.[1]; Domínguez, Natalia E. [1]; Lobo, Manuel O.[1]

(1) Centro de Investigación Interdisciplinario en Tecnología y Desarrollo Social del NOA (CIITeD) – CONICET. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.
ileanagremasqui96@gmail.com; malejandragimenez@gmail.com

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue la obtención de galletas proteicas utilizando diferentes combinaciones de hidrolizado de harina quínoa (HQ), harina de haba (HH) y harina de trigo (HT). La mezcla (HT/HH) se seleccionó como muestra control (G0). A esta última se le agregó HQ en distintos porcentajes (10, 20 y 30%). Las propiedades texturales de la masa, la caracterización física y composición química de las galletas fueron determinadas. La masa de las galletas, con el agregado paulatino de HQ, presentó mayor dureza y adhesividad. Respecto a las propiedades físicas, la galleta proteica con un 30% de HQ (GQ30) se consideró de mejor calidad de acuerdo a su mayor relación de esparcimiento (5,74). El agregado de HQ resultó en galletas más compactas disminuyendo el volumen específico (1,30 a 1,15 cm^3/g) y de mayor dureza (2791 a 6515 g). Finalmente, las galletas con el mayor porcentaje de HQ incrementaron un 68% su contenido proteico, respecto a G0 y presentaron un contenido de fibra de 12,15 g/100g. Por lo tanto, el uso de HQ representa una opción viable y de gran ventaja en el desarrollo de productos de panadería mejorados nutricionalmente.

ABSTRACT

The objective of this study was to obtain protein cookies using different combinations of hydrolysate quinoa flour (HQ), broad bean flour (HH) and wheat flour (HT). The mixture (HT/HH) was selected as a sample control (G0). HQ was added to the latter in different percentages (10, 20 and 30%). The textural properties of the dough, the physical characterization and the chemical composition of the cookies were determined. The cookie dough, with the gradual addition of HQ, presented greater hardness and adhesiveness. Regarding the physical properties, the protein cookie with 30% HQ (GQ30) was found to be of better quality according to its higher spread ratio (5.74). The addition of HQ resulted in more compact cookies, decreasing the specific volume (1.30 to 1.15 cm3/g) and greater hardness (2791 to 6515 g). Finally, the cookies with the highest percentage of HQ increased their protein content by 68%, compared to G0 and presented a fiber content of 12.15 g/100g. Therefore, the use of HQ represents a viable option and great advantageous in the development of nutritionally enhanced bakery products.

Palabras claves: galletas – hidrolizado – propiedades - harinas

Keywords: cookies – hydrolysate – properties - flours

1. INTRODUCCIÓN

Los hidrolizados proteicos están conformados por péptidos y aminoácidos. Hoy en día tienen una variedad de aplicaciones en productos para bebés, y otros terapéuticos específicos, fortificantes de jugos de frutas y refrescos, aditivos alimentarios funcionales, piensos para animales, etc. (Chalamaiah et al., 2012).

Las proteínas vegetales son de gran interés para la industria alimentaria, siendo de gran interés las provenientes de algunos cultivos regionales (cereales, pseudocereales y legumbres). A partir de estos se obtienen concentrados y aislados proteicos que se utilizan como sustratos para la obtención de hidrolizados proteicos (Do Evangelho et al., 2018; Phongthai et al., 2016).

La quínoa (*Chenopodiumquinoa*) es un pseudocereal con atractivas características nutricionales. Es conocida por su alto contenido de proteínas (12–23%) y es considerada uno de los alimentos más completos por presentar un adecuado balance de aminoácidos, incluidos los diez aminoácidos esenciales. Dicho balance se aproxima a los requerimientos nutricionales recomendados por la FAO (Arendt y Zannini, 2013). Por sus propiedades, la quínoa puede ser utilizada como materia prima apropiada para la formulación de productos hidrolizados (Gremasqui et al., 2021).

Los productos horneados se pueden enriquecer y fortificar fácilmente con hidrolizados para mejorar su contenido proteico, valor nutricional y propiedades biofuncionales. Por lo tanto son un vehículo adecuado para satisfacer las necesidades específicas de los consumidores (Samamé et al., 2016; Bravo-Nuñez et al., 2018; Ikasari et al., 2020; Xu et al., 2020).

Dentro de estos, las galletas son ampliamente consumidas en todo el mundo. Contienen tres ingredientes principales: harina, azúcar y grasa. Estos se mezclan con otros ingredientes menores para formar una masa (Soni et al., 2018). En la elaboración de galletas, el desarrollo del gluten no es una característica necesaria por lo que la adición de harinas no tradicionales, sin gluten y ricas en proteínas no representaría un obstáculo tecnológico para su formulación (Canalis et al., 2020).

Los cambios en la formulación de las galletas para potenciar sus propiedades nutritivas suelen producir modificaciones en las propiedades de la masa, como cambios en las propiedades reológicas, el color y la textura (Canalis et al., 2020). Las características físicas de la galleta, incluido el diámetro, el grosor y la proporción de esparcimiento son propiedades importantes para las galletas. Lo mismo que las propiedades de textura, incluida la dureza y la fracturabilidad (Zhang et al., 2020). El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de un hidrolizado de quínoa en las propiedades físicas y texturales de galletas a base de harina de trigo y haba.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 *Materiales*

Se trabajó con harina integral de haba (HH) (*Vicia Faba. L*) provista por productores de la Localidad de Ocumazo, Humahuaca. Se utilizó un hidrolizado de quínoa (HQ) obtenido directamente de la harina de quínoa a escala laboratorio según (Gremasqui et al., 2021) con un contenido proteico de 54,69%, fibra 23,18%, cenizas 14,11% y lípidos 0,003%. Los demás ingredientes, harina de trigo (HT), margarina, azúcar, esencia de vainilla, cacao en polvo amargo y polvo de hornear que se emplearon para la formulación de las galletas fueron adquiridos de locales comerciales de la ciudad de San Salvador de Jujuy.

2.2 *Galleta proteica: Formulación y elaboración*

La galleta proteica fue formulada a partir de una mezcla de harina de trigo (HT), harina de haba (HH) y el hidrolizado de quínoa fue evaluado en distintos niveles de sustitución 10, 20 y 30 % y las galletas fueron identificadas como GQ10, GQ20 y GQ30, respectivamente. También, se formuló una galleta control (G0) con una mezcla de HT/HH (70:30). Mediante pruebas preliminares se determinó la cantidad a incorporar de azúcar, margarina, polvo de hornear y agua.

2.3 *Caracterización de la masa*

La textura de la masa se midió utilizando un analizador de textura TA-XT2 (Stable Microsystems, Surrey, Reino Unido). Se utilizó una modificación del método descrito por Laguna et al. (2011). Se empleó una sonda de aluminio cilíndrica (P/50) en una prueba de compresión de "Análisis del perfil de textura" (TPA) para penetrar hasta el 50% de la profundidad de la

muestra a una velocidad de prueba de 1 mm/s, con un retraso de 30 segundos entre los dos compresiones. Se midieron la dureza (N) y la adhesividad. Los análisis se realizaron en 12 discos de masa de 56 mm de diámetro y 8 mm de espesor de cada elaboración.

2.4 *Caracterización física de las galletas*

2.4.1 *Diámetro (D)*

El diámetro de las galletas se midió utilizando un calibre Vernier digital. En cada galleta se midió el diámetro 4 veces, girando la galleta 90° en cada medida. Se informó el diámetro promedio de seis galletas.

2.4.2 *Espesor (E)*

El espesor de las galletas se midió utilizando un calibre Vernier digital. En cada galleta se midió el espesor 4 veces, girando la galleta 90° en cada medida. Se informó el valor medio de la medida de seis galletas.

2.4.3 *Relación de esparcimiento (RE)*

Se determinó a partir de la relación entre el valor medio del diámetro (D) y el espesor (E) de las galletas (Ghoshal y Kaushik, 2020).

2.4.4 *Volumen específico (VE)*

El VE se determinó utilizando un método estándar modificado de desplazamiento de semillas de colza 10–05 (AACC International, 2000) usando semillas de quínoa en lugar de semillas de colza (Encina-Zelanda et al., 2018). El molde utilizado para realizar la medición fue un paralelepípedo con una dimensión de 12 cm x 12 cm x 8 cm (ancho x largo x alto). El peso de la galleta se determinó utilizando una balanza analítica. El VE se calculó según la Ecuación 1:

$$VE\left(\frac{cm3}{g}\right) = \frac{Volumen\ de\ la\ galleta}{Peso\ de\ la\ galleta} \qquad (1)$$

2.4.5 *Dureza*

La dureza de las galletas horneadas se midió usando un analizador de textura. Se empleó una plataforma de doblado y una sonda de flexión en 3 puntos (HDP / 3PB) con una celda de carga de 5 kg. La dureza, pico de fuerza máxima, se midió en seis galletas por cada formulación. La fuerza máxima para romper las galletas se informa como fuerza de fractura en N.

2.5 *Composición química de las galletas*

La composición de las galletas se determinó de acuerdo a los métodos AOAC (2017). El aporte energético fue calculado teniendo en cuenta que 1 g de proteína aporta 4 kcal, 1 g de hidratos de carbono aportan 4 kcal y 1 gramo de grasa aporta 9 kcal.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 1 muestra las características de textura de las masas. A medida que aumentan los niveles de sustitución de HQ, aumenta significativamente la dureza y la adhesividad de las masas respecto a G0. Esto podría atribuirse a que el hidrolizado podría interaccionar con las proteínas presentes en la mezcla y alterar la estructura de las masas afectando sus propiedades de textura (Güemes-Vera et al., 2009).

Tabla 1. Propiedades de textura de masas con diferentes niveles de HQ

Masas	Dureza (g)	Adhesividad (g.seg)
G0	9495±2001^{a}	-127,5±19,8^{a}
GQ10	15162±652^{b}	-228,5±11,6^{b}
GQ20	18228±1873^{c}	-130,1±32,5^{ac}
GQ30	19275±2267^{c}	-149,2±13,2^{c}

Los valores en cada columna seguidos de diferentes letras en superíndice son significativamente diferentes ($p<0,05$). G0= HH+HT; GQ10 = HT + HH + HQ (10%); GQ20= HT + HH + HQ (20%); GQ30= HT + HH + HQ (30%).

Además, Zouari et al. (2016) reportó que el enriquecimiento de la masa con fibras afecta las propiedades mecánicas como el aumento de la dureza. Esto está de acuerdo con los resultados obtenidos debido a que la mayor dureza observada con el aumento del porcentaje de sustitución de HQ, podría atribuirse a su alto contenido de fibra.

El aumento de la dureza y adhesividad de las masas también fueron informados por Zouari et al. (2016) y Culetu et al. (2020) en la formulación de galletas proteicas con agregado de diferentes

concentraciones de harina de sésamo y avena, respectivamente.
La incorporación de HQ afectó las propiedades mecánicas de la masa, incrementando la dureza y la adhesividad. Estas propiedades texturales son características importantes que afectan la maquinabilidad de la masa y la calidad del producto final.

Las propiedades físicas de las galletas obtenidas con distintos niveles de HQ se observan en las Tabla 2. El diámetro (D) de las galletas aumentó a partir del 20% de HQ, mientras que el espesor (E) disminuyó significativamente, respecto al control.

Por lo tanto, la relación de esparcimiento (RE) de las galletas aumentó significativamente a partir de un 20% de sustitución con HQ. Este aumento en la RE podría deberse a la disminución del contenido total de gluten y al aumento del contenido de proteínas de HQ (1,20% por cada 10% de sustitución) al incrementar los niveles de HQ. En este sistema, el agua interactuaría con las proteínas, péptidos y aminoácidos del hidrolizado y consecuencia estaría menos disponible para interactuar con el gluten permitiendo una mayor expansión de la masa.

Tabla 2. Propiedades físicas de las galletas con HQ

Parámetros	G0	GQ10	GQ20	GQ30
E(mm)	$11,84\pm0,50^{b}$	$11,01\pm0,78^{ab}$	$10,24\pm0,20^{a}$	$10,08\pm0,58^{a}$
D(mm)	$54,25\pm0,81^{a}$	$55,06\pm1,03^{a}$	$57,32\pm1,51^{b}$	$57,73\pm1,30^{b}$
RE	$4,59\pm0,23^{ab}$	$5,02\pm0,40^{b}$	$5,60\pm0,16^{c}$	$5,74\pm0,20^{c}$
VE(cm^3/g)	$1,30\pm0,02^{c}$	$1,20\pm0,06^{b}$	$1,15\pm0,12^{a}$	$1,15\pm0,18^{a}$
Dureza (g)	2791 ± 497^{a}	3056 ± 449^{b}	3788 ± 221^{c}	6515 ± 304^{d}

Los valores en cada fila seguidos de diferentes letras en superíndice son significativamente diferentes ($p<0,05$). G0= HH+HT; GQ10 = HT + HH + HQ (10%); GQ20= HT + HH + HQ (20%); GQ30= HT + HH + HQ (30%).

Por otro lado, Kulthe et al. (2017) informaron que el aumento de la RE podría deberse al efecto combinado del azúcar y las fibras en la masa de las galletas, que dan como resultado un aumento del diámetro y reducción del espesor de las galletas durante el horneado, lo que concuerda con los resultados obtenidos. La RE es un índice de calidad importante en las galletas, siendo deseables las que presentan valores de RE más altos. Por lo que las galletas con un enriquecimiento del 30% con HQ (GQ30) se consideraría de mejor calidad respecto a ésta propiedad (Chauhan et al., 2016; Zouari et al., 2016). El aumento del diámetro, la disminución del espesor y en consecuencia el incremento de la relación de esparcimiento, también fue reportado por Nuñez et al. (2018) en galletas formuladas con agregado de hidrolizado de gluten.

El volumen específico (VE) disminuyó con el incremento de los niveles de HQ, lo que indica una estructura más compacta. Este comportamiento podría explicarse por una fuerte interacción entre el agua, las proteínas, azúcares y fibra de HQ. A su vez, este último tuvo una menor capacidad para retener gases respecto a la proteínas de trigo y haba, durante el horneado (Brito et al., 2014). Por otro lado, la pérdida del VE también podría atribuirse a la dilución del contenido de gluten por el incremento del contenido de fibra en las galletas por el agregado de HQ. Las partículas de fibra podrían impedir el desarrollo adecuado del gluten al cortar sus hebras, lo que inhibe la formación de una red viscoelástica, dando como resultado el debilitamiento de la masa y disminución del VE (Ni et al., 2020; Wang et al., 2015).
Una disminución del VE fue reportado por Millar et al. (2017) y Ostermann-Porcel et al. (2017) en galletas proteicas de leguminosas y okara.

En general, la dureza de las galletas aumentó con el agregado de HQ a partir del 10% de sustitución. Los valores de dureza de las galletas de este estudio fueron comparados con la dureza de una galleta comercial (GC) (9795,55 g), la cual contiene en su formulación concentrado de suero. Dicha dureza fue significativamente mayor que las galletas estudiadas. Se han informado resultados similares que muestran que la adición de harinas con alto contenido de fibra o proteínas de origen vegetal aumentaron la dureza de

galletas enriquecidas con harina coco y harina de soja, frijol y garbanzo (Dat y Phuong, 2017; Soni et al., 2018) y que las harinas proteicas forman agregados con un mayor número de sitios hidrofílicos disponibles para competir con el agua libre, limitada de la masa (Gani et al., 2014). Es por esto que el incremento de la dureza de las galletas de este estudio podría estar relacionada con mayores niveles de proteínas por el agregado de HQ, las proteínas contribuirían a la formación de una estructura más dura como resultado de una compactación de la masa derivada de la fuerte interacción entre estas y el agua. Por otro lado, durante la cocción, la expansión de las celdas de gas obliga a las proteínas a estar más cerca una de otras contribuyendo a la dureza (Kulthe et al., 2017; Soni et al., 2018). El aumento de la dureza también fue observado por Adeyeye et al. (2017) en galletas enriquecidas con aislado proteico de soja.

La composición proximal en base húmeda (Tabla 3) muestra que el contenido proteico incrementó de 9,66 a 16,23 g/100g en las galletas enriquecidas con 30% de HQ. Dicho incremento fue significativo a partir de concentraciones del 20%.Ghoshal y Kaushik. (2020) informaron una mejora en el contenido de proteínas en galletas enriquecidas con harina de soja, encontrando valores entre 14 y 16% con un enriquecimiento máximo del 25%. También, Arise et al. (2021) encontraron valores entre 11 y 14% de proteínas en galletas enriquecidas con un 10% de aislado proteico de maní y entre 10-25% de puré de banana.

Tabla 3. Composición proximal de las galletas con HQ

Parámetros	G0	GQ10	GQ20	GQ30
Humedad	12,84±0,17^{a}	11,45±0,48^{b}	9,49±0,21^{c}	7,18±0,65^{d}
Proteínas	9,66±0,17^{d}	10,86±0,07^{c}	14,97±0,47^{b}	16,23±0,07^{a}
Lípidos	12,46±0,53^{a}	12,07±0,07^{a}	11,95±0,14^{a}	11,83±0,13^{a}
Cenizas	1,33±0,24^{d}	2,39±0,06^{c}	3,09±0,08^{b}	3,55±0,19^{a}
Fibra dietaria total	7,12±0,13^{d}	9,28±0,24^{c}	10,72±0,34^{b}	12,15±0,14^{a}
Hidratos de Carbono	56,95	53,95	49,78	49,06

Los valores en cada fila seguidos de diferentes letras en superíndice son significativamente diferentes ($p<0,05$). G0= HH+HT; GQ10 = HT + HH + HQ (10%); GQ20= HT + HH + HQ (20%); GQ30= HT + HH + HQ (30%).

El contenido de lípidos de las galletas no varió significativamente con el enriquecimiento de HQ. Este contenido es menor al encontrado por Ghoshal y Kaushik. (2020), Kulthe et al. (2011) y Fernández et al. (2016) en galletas fortificadas con harina de soja y con subproductos proteicos de suero de quesería.

El contenido de cenizas y fibra dietaria total de las galletas incrementaron con la adición de HQ. Esto podría deberse al mayor contenido de cenizas y fibra de HQ por lo que este podría servir como fuente alternativa de fibra dietaria en productos de panadería (Agu et al., 2014; Ambigaipalan y Shahidi, 2015). Los valores de fibra dietaria y cenizas fueron mayores a los reportados por Arise et al. (2021) en galletas enriquecidas con aislado proteico de maní. Ghoshal y Kaushik. (2020) encontraron menores valores de fibra y mayores valores de cenizas en galletas fortificadas con harina de soja.

Finalmente, GQ30 aportaría 389 kcal/100g, lo que representaría el 19,45% de una dieta de 2000kcal. Estos valores son similares a los reportados por Adeyeye et al. (2017) y Kulthe et al. (2011) en galletas enriquecidas con aislado de soja y en galletas proteicas bajas en calorías, respectivamente.

4 CONCLUSIONES

Los resultados mostraron que el agregado de HQ incrementa notablemente el contenido proteico y de fibra de las galletas. El agregado de HQ afectó las propiedades mecánicas de la masa, incrementando la dureza y la adhesividad. En el producto final, la adición de HQ en un 30% incrementa la dureza de las galletas, sin embargo, este parámetro es menor a los que presentan algunas galletas comerciales. Por otro lado, el agregado de HQ mejora la relación de esparcimiento de las galletas, aumentando su calidad galletera. Por lo tanto, el uso de HQ representa una opción viable y de gran ventaja en

el desarrollo de productos de panadería mejorados nutricionalmente.

5 AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado por el proyecto IaValSe-Food-CYTED (Nº119RT0567) y SECTER – Universidad Nacional de Jujuy – CONICET.

Los autores le dan las gracias a la Sra. Argentina Amaya (CPA) por su ayuda en el manejo de equipos de laboratorio.

6 REFERENCIAS

AACC International *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists*, 10th Ed. Methods 08-01, 32-05, 44-15A, and 46-13. The Association: St. Paul, MN, 2000.

Adeyeye, S. A. O., Adebayo-Oyetoro, A. O., Omoniyi, S. A. Quality and sensory properties of maize flour cookies enriched with soy protein isolate. *Cogent Food & Agriculture*, 3(1), 1278827, 2017.

Agu, H. O., Ezeh, G. C., Jideani, A. I. O. Quality assessment of acha-based biscuit improved with bambara nut and unripe plantain. *African Journal of Food Science*, 8(5), 278-286, 2014.

Ambigaipalan, P., Shahidi, F. Date seed flour and hydrolysates affect physicochemical properties of muffin. *Food bioscience*, 12, 54-60, 2015.

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. International. Official Methods of Analysis. *www.aoac.org*. 20/01/2020

Arendt, E., Zannini, E. Cereal grains for the food and beverage industries: Quinoa. *Food Science, Technology and Nutrition*, 248, 409-438, 2013.

Arise, A. K., Akeem, S. A., Olagunju, O. F., Opaleke, O. D., Adeyemi, D. T. Development and Quality Evaluation of Wheat Cookies Enriched with Bambara Groundnut Protein Isolate alone or in Combination with Ripe Banana Mash. *Applied Food Research*, 1(1), 100003, 2021.

Bravo□Nuñez, Á.,Sahagún, M., Martínez, P., Gómez, M. Incorporation of gluten and hydrolysed gluten proteins has different effects on dough rheology and cookie characteristics. International *Journal of Food Science & Technology*, 53(6), 1452-1458, 2018.

Brito, I. L., de Souza, E. L., Felex, S. S. S., Madruga, M. S., Yamashita, F., Magnani, M. Nutritional and sensory characteristics of gluten-free quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*)-based cookies development using an experimental mixture design. *Journal of food science and technology*, 52(9), 5866-5873, 2015.

Canalis, M. B., Baroni, M. V., León, A. E., Ribotta, P. D. Effect of peach puree incorportion on cookie quality and on simulated digestion of polyphenols and antioxidant properties. *Food Chemistry*, 333, 127464, 2020.

Chauhan, A., Saxena, D. C., Singh, S. Physical, textural, and sensory characteristics of wheat and amaranth flour blend cookies. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1), 1125773, 2016.

Culetu, A., Stoica□Guzun, A., Duta, D. E. Impact of fat types on the rheological and textural properties of gluten□free oat dough and cookie. International *Journal of Food Science & Technology*, 56(1), 126-137, 2021.

Do Evangelho, J. A., Vanier, N. L., Pinto, V. Z., De Berrios, J. J., Dias, A. R. G., da Rosa Zavareze, E. Black bean (*Phaseolus vulgaris L.*) protein hydrolysates: Physicochemical and functional properties. *Food chemistry*, 214, 460-467, 2017.

Encina-Zelada, C., Teixeira, J., Monteiro, F. C., Gonzales-Barron, U., Cadavez, V. Effect of xanthan gum on physicochemical and textural properties of gluten-free batter and bread. In 10th International Conference on Simulation and Modelling in the Food and Bio-Industry, pp. 204-209, 2018.

Fernández, A., Rojas, E., Garcia, A., Mejia, J., Bravo, A. Evaluaciónfisicoquímica, sensorial y vidaútil de galletasenriquecidas con subproductosproteicos de suero de quesería. *RevistaCientífica*, 26(2), 71-79, 2016.

Ghoshal, G., Kaushik, P. Development of soymeal fortified cookies to combat malnutrition. *Legume Science*, 2(3), e43, 2020.

Gremasqui, I. D. L. A., Giménez, M. A., Lobo, M. O., Sammán, N. C. Nutritional and functional characterisation of hydrolysates from quinoa flour (Chenopodium quinoa) using two

proteases. International Journal of Food Science & Technology, 56(12), 6507-6514, 2021.

Güemes Vera, N., Totosaus, A., Hernandez, J. F., Soto, S., Aquino Bolaños, E. N. Propiedades de textura de masa y pan dulcetipo" concha" fortificados con proteínas de suero de leche. *Food Science and Technology*, 29, 70-75, 2009.

Ikasari, D., Hastarini, E., Suryaningrum, T. D. Characteristics of cookies formulated with fish protein concentrate powder produced from Snakehead Fish (*Channastriata*) Extraction By-product. *In E3S Web of Conferences*, Vol. 147, p. 03028; 2020.

Kulthe, A. A., Thorat, S. S., Lande, S. B. Evaluation of physical and textural properties of cookies prepared from pearl millet flour. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(4), 692-701, 2017.

Laguna, L., Salvador, A., Sanz, T., &Fiszman, S.M. (2011). Performance of a resistant starch rich ingredient in the baking and eating quality of short-dough biscuits. *LWT - Food Science and Technology*, 44, 737-746.

Millar, K. A., Barry□Ryan, C., Burke, R., Hussey, K., McCarthy, S., Gallagher, E. Effect of pulse flours on the physiochemical characteristics and sensory acceptance of baked crackers. International Journal of *Food Science & Technology*, 52(5), 1155-1163, 2017.

Ni, Q., Ranawana, V., Hayes, H. E., Hayward, N. J., Stead, D., Raikos, V. Addition of broad bean hull to wheat flour for the development of high-fiber bread: Effects on physical and nutritional properties. *Foods*, 9(9), 1192, 2020.

Nuñez, B. Á., Sahagún, M., Martínez, P., Gómez, M. Incorporation of gluten and hydrolysed gluten proteins has different effects on dough rheology and cookie characteristics. International *Journal of Food Science & Technology*, 53(6), 1452-1458, 2018.

Ostermann-Porcel, M. V., Quiroga-Panelo, N., Rinaldoni, A. N., Campderrós, M. E. Incorporation of okara into gluten-free cookies with high quality and nutritional value. *Journal of Food Quality*, 1-8, 2017.

Phongthai, S., Lim, S. T., Rawdkuen, S. Optimization of microwave-assisted extraction of rice bran protein and its hydrolysates properties. *Journal of cereal science*, 70, 146-154, 2016.

Samamé, S. Z., Arana, J. V. Optimización de la formulación de una galleta enriquecida con hidrolizado de anchoveta (*Engraulisringens*) aplicando metodología de superficie de respuesta. *Agroindustrial Science*, 6(1), 127-134, 2016.

Soni, N., Kulkarni, A. S., Patel, L. Studies on development of high protein cookies. *IJCS*, 6(6), 439-444, 2018.

Wang, S., Opassathavorn, A., Zhu, F. Influence of Quinoa Flour on Quality Characteristics of Cookie, Bread and Chinese Steamed Bread. *Journal of Texture Studies*, 46(4), 281-292, 2015.

Xu, D., Zhou, X., Lei, C., Shang, Y., Zhao, Y., Wang, Z., Zeng, F., Liu, G. Development of biscuits and cookies using raw dehydrated potato flour and its nutritional quality and volatile aroma compounds evaluation. *Journal of FoodProcessing and Preservation*, 44(7), e14528, 2020.

Zhang, Z., Fan, X., Yang, X., Li, C., Gilbert, R. G., Li, E. Effects of amylose and amylopectin fine structure on sugar-snap cookie dough rheology and cookie quality. *Carbohydrate Polymers*, 241, 116371, 2020.

Zouari, R., Besbes, S., Ellouze-Chaabouni, S., Ghribi-Aydi, D. Cookies from composite wheat–sesame peels flours: Dough quality and effect of Bacillus subtilis SPB1 biosurfactant addition. *Food chemistry*, 194, 758-769, 2016.

.

Almacenamiento de snacks de zapallo deshidratados por dos métodos. Efecto de envases en las características físico-químicas.

Kvapil, Florencia[1];Moreno Fernández, Camila[1];Iturriaga, Laura.[1, 2]

(1)Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Universidad Nacional de Santiago del Estero.
florykvapil@hotmail.com; camila.moreno.fernandez@gmail.com

(2) Centro de Investigación en Biofísica Aplicada y Alimentos (CIBAAL), Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero.
laura.iturriaga@gmail.com

RESUMEN

Se estudió el efecto de envases comerciales sobre el contenido de humedad, de carotenoides y el color, durante el almacenamiento a temperatura ambiente de snacks de zapallo obtenidos por secado convectivo con (M) y sin (C) pre tratamiento de microondas. Para ello se utilizaron envases trilaminados tipo "doy pack®" con diferentes composiciones: negro mate satinado (N)y de papel kraft con ventana (K). Se midió la velocidad de transmisión de vapor de agua (VTVA) resultando un valor de 0,65 ± 0,02 y 0,91 ± 0.03g/m^{2}h para Ny K, respectivamente. Se observó que el pre tratamiento redujo la absorción de agua y mantuvo mejor los niveles de carotenoides y el color durante el almacenamiento. En cuanto al tipo de envase, K arrojó el mayor contenido de humedad en las muestras M mientras que para C no hubo diferencias hacia el final del almacenamiento. Además, el contenido de carotenoides fue mayor para K al comparar con N para ambas muestras. Sin embargo no se observaron diferencias significativas en el color entre los envases para ambas muestras. Por lo tanto, se pudo concluir que el envase más apropiado para snacks de zapallo fue N, el cual se utilizará en posteriores ensayo de vida útil.

ABSTRACT

The effect of commercial packaging on moisture and carotenoid content and color during storage of pumpkin snacks obtained by convective drying with (M) and without (C) microwave pretreatment was studied. For this, two doypack-type trilaminate containers with different compositions were used: satin matt black (N) and Kraft paper with window (K). The water vapor transmission rate (VTVA) was measured, resulting in a value of 0.65 ± 0.02 and 0.91 ± 0.03 g/m^{2}h for N and K, respectively. It was observed that the microwave pretreatment reduced water absorption and better maintained carotenoid levels as well as color during storage. Regarding the type of container, K showed the highest moisture content only in the M samples, while in the C samples there were no differences towards the end of storage. In addition, the carotenoid content was higher for this type of container when compared to N for both dehydrated samples. However, no significant differences in color wereobserved between the containers for both samples. Therefore, it was possible to conclude that the most appropriate container for squash snacks was N, which will be used in subsequent shelf life tests.

Palabras claves: envase-contenido de humedad-carotenoides-color

Keywords: packaging-moisture content-carotenoids-color

1 INTRODUCCION

La estabilidad durante el almacenamiento de un alimento deshidratado está relacionada con las condiciones de envasado y las dealmacenamiento tales como: humedad, concentración de oxígeno, temperatura y luz, entre otras y también con la microestructura y composición de la muestra. "Los cambios de calidad física, química y microbiológicade un producto seco durante el almacenamiento, en muchos casos, son causados por un aumento en la actividad del agua (a_w) debido a la adsorción de humedad"(Ngamwonglumlert y Devahastin,

2018). El desafío en las ciencias alimentarias modernas no es solo minimizar las reacciones de degradación química, sino también maximizar la conservación de nutrientes beneficiosos durante el almacenamiento.“Los materiales de embalaje y condiciones de almacenamiento se consideran como el último paso en el desarrollo de productos para extender la conservación de frutos secos” (Udomkun et al., 2016). Según Lee y Robertson, (2021), el tiempo para que los alimentos secos envasados alcancen un contenido de humedad que provoque un deterioro significativo de la calidad se ha tomado generalmente como la vida útil de los mismos. Este enfoque se basa en la hipótesis de que el cambio de calidad primario está estrechamente relacionado con el aumento de humedad durante el almacenamiento, tal comoel cambio de color y el contenido de β-caroteno en rodajas de zanahoria.Por lo tanto, y de acuerdo a Ashley (1985),la selección del empaque utilizado para conservar los alimentos depende de la funcionalidad del mismo, esto es, proteger contra los agentes físico-químicos y microbiológicos. Además debe permitir el correcto transporte y debe ser atractivo para el consumidor razón por la cual el diseño del envase es un factor muy importante.

“La varietal tipo Butternut (*Cucurbita moschata* Duchesne ex Poiret) conocido comercialmente en Argentina como “calabacita” es entre los diferentes tipos de zapallo, el preferido por los consumidores locales debido a su sabor.También es interesante por su versatilidad ya que puede ser utilizado para la elaboración de productos alimenticios salados o dulces”(de Escalada Plá et al., 2007). Según Konopacka et al. (2010), las diferentes varietales de zapallo poseen alto contenido de carotenos, especialmente α- y β-carotenos y además poseen ácido ascórbico, mono-, di- y polisacáridos (glucosa, fructosa, sacarosa y almidón), minerales (K, Ca, Mg y Fe) y pectinas. Teniendo en cuenta sus propiedades nutricionales y sensoriales, este vegetal representa una buena opción para el desarrollo de alimentos tipo snacks. Es por ello, que en este trabajo se aplicará secado por microondas como tratamiento previo al secado convectivo a fin de obtener snacks de zapallo con propiedades texturales más atractivas para el consumidor. Un aspecto relevante en el desarrollo de nuevos alimentos, es el estudio de la vida útil. Al respecto, se encuentran escasos reportes del envasado y almacenamiento de este vegetal deshidratadoparticularmente en lo referido al tipo de empaque utilizado.Por lo expuesto, el presente trabajo tiene como objetivo determinar los efectos de los empaque comerciales sobre las características físico-químicas de snacks de zapallo almacenados a temperatura ambiente y seleccionar el empaque óptimo para futuros ensayos de vida útil.

2 MATERIALES Y METODOS

2.1 Material vegetal

Se trabajó con zapallos frescos (*Cucurbita moschata*) obtenidos en el mercado local de Santiago del Estero, los cuales se mantuvieron refrigerados a 4 ± 0,5 °C hasta su procesamiento. Las hortalizas ser lavaron, pelaron y se cortaron rodajas con un espesor 2,4 ± 0,3 mm, utilizando solo de la sección longitudinal del zapallo. Luego, las muestras se sometieron a dos métodos de secado que se describen a continuación:

Microondas:Se realizó un tratamiento previo con microondas en un horno doméstico. Se colocaron las rodajas de vegetal en una bandeja a potencia máxima del dispositivo (1180 W) durante un tiempo tal que asegure una pérdida de peso (ΔP) en un rango del 80% aproximadamente, con respecto al peso inicial del vegetal fresco. Para ello, se extrajeron las rodajas cada 30 segundos y se pesaron hasta alcanzar dicha ΔP, lo cual se logró en un tiempo total de 2 minutos. Luego, se finalizó el proceso de secado con el método convencional.

Secado convencional con aire caliente:Para este método, se utilizó una estufa de convección forzada (Tecnodalvo) con circulación de aire a velocidad constante. Antes de colocar las muestras, se establecieron las condiciones de temperatura de trabajo estables dentro de la estufa. Se colocaron muestras de zapallo tanto pre deshidratadas en microondas, así como frescas a temperatura de 60 °C hasta obtener un peso constante. Las muestras deshidratadas con pre tratamiento de microondas se denominan M y las muestras sin pretratar C.

2.2 *Envasado y almacenamiento*

Se utilizaron 2 bolsas comerciales de alta barrera tipo doypack ® (Stand Up Pouch) con cierre plástico zipper. Las mismas poseen 11 cm de ancho y 15 cm de largo. Un tipo de empaque fue negro mate satinado (N), constituido por 3 capas:

material externo de polipropileno biorientado (BOPP) mate de 20 micrones, en el centro tereftalato de polietileno biaxialmente orientado (BOPET) metalizado de 12 micrones y material interno de polietileno de baja densidad (PEBD) cristal termosellable de60 micrones. También se utilizaron bolsas de papel madera o kraft con ventana (K) constituido por una capa externa de papel kraft marrón de 50 gramos, una capa intermedia de BOPET cristal de 12 micrones y una capa interna de PEBD de 60 micrones. La ventana representa el 20% de la superficie total del empaque.

Las rodajas deshidratadas con ambos tratamientos fueron envasadas y se obtuvieron muestras M-N, M-K, C-N y C-K de acuerdo a las combinaciones de tratamientos de secado y envase. Se colocaron 6-8 rodajas por bolsay fueron sellados térmicamente como se muestra en la Fig. 1. Se almacenaron en condiciones ambientales no controladas y se extrajeron muestras periódicamente para realizar los ensayos físico-químicos (0, 15, 30 y 45 días).

Figura 1: Rodajas de zapallo envasadas en bolsas trilaminadas negras y de papel Kraft.

2.3. Velocidad de transmisión de vapor de agua (VTVA)

La VTVA fue realizada a lascondiciones ambientales de 32°C y 50% de humedad relativa (HR) utilizando el método gravimétrico de acuerdo a la norma ASTM 96-95. Para ello, se registró la variación de peso de un producto desecante contenido dentro de placas recubiertas por la película plástica a estudiar y luego con los datos obtenidos se realizó un gráfico de ΔP vs t para determinar el valor de VTVA de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$VTVA = \frac{\Delta P}{t*A} \quad (1)$$

Donde ΔP es la variación del peso (g), t es el tiempo (h) durante el cual ocurre la ΔP y A es la superficie expuesta de la película plástica (m^2). Para el empaque kraft con ventana se midió en ambos materiales y se ponderó de acuerdo a la superficie que ocupa cada uno de ellos en el envase. Los valores de VTVA se expresaron en g/m^2h.

2.4. Contenido de humedad

Se determinó el contenido de humedad en estufa de vacío a 70 °C de acuerdo al método 934.06 AOAC(2006). Se realizó el ensayo por triplicado y fue expresado en porcentaje para cada tratamiento en los tiempos de almacenamiento preestablecidos.

2.5. Contenido de carotenoides

El contenido de carotenoides y clorofila se determinó por la técnica descripta por Nawirska-Olszanska et al. (2017). Muestras deshidratadas (aproximadamente 2 g) se trituraron y se colocaron en frascos color caramelo. Luego se agregó 15 mL de acetona al 100% y se agitó ligeramente. Las muestras fueron almacenadas a 4° C durante 24 h y luego fueron centrifugadas en centrifuga refrigerada. Seguidamente se filtró y se midió la absorbancia del extracto a 661,6, 644,8 y 470 nm.

Se realizaron los cálculos con las siguientes ecuaciones:

$$Cl_a = 11{,}24A_{661.6} - 2{,}04A_{644.8} \quad (2)$$

$$Cl_b = 20{,}13A_{644.8661.6} - 4{,}19A_{661{,}6} \quad (3)$$

$$Ca = 1000 * A_{470} - (1{,}9Cl_a + 63{,}14Cl_b)/\,214 \quad (4)$$

Donde Cl_a y Cl_b corresponden a los valores de clorofila a y b respectivamente. Y los valores de A son las absorbancias a 661,1, 644,8 y 470 respectivamente. El valor de carotenoides (Ca) se expresó en mg/100 g tejido seco.

2.6. Color

A los diferentes tiempos de almacenamiento, los parámetros de color L*, a* y b* se determinaron con un colorímetro Minolta CR-300. Asimismo, se calcularon los parámetros Croma (Cr) y Hue (H°), de acuerdo a las ecuaciones expresadas por Guiné y Barroca(2012).

2.7. *Análisis estadístico*

Los ensayos se realizaron por triplicado y los resultados se informaron como su promedio ± desviación estándar (DE). Los resultados fueron comparados estadísticamente mediante el análisis de varianza (ANOVA) y el test de Fisher, con un nivel de confianza de 95% utilizando el software libre INFOSTAT versión 2019 desarrollado por Di Rienzo et al (2019).

3 RESULTADOS

3.1 *Velocidad de transmisión de Vapor de agua (VTVA)*

El ensayo dio como resultado un valor de 0,65 ± 0,02 g/m^{2}h para el empaque Negro mientras que el Kraft arrojó un valor de 0,91 ± 0.03 g/m^{2}h. Por lo tanto, se pudo determinar que el envase negro posee barrera al ingreso de vapor de agua significativamente mayor. Al respecto, Alves (1999) informaron valores de transmisión de vapor de agua en el rango de 0,6-1,1g/m^{2}h para películas combinadas de BOPP/PET y film metalizado. Dichos autores indicaron que la incorporación del film metalizado aumentó la barrera al vapor de agua.

3.2 *Contenido de humedad*

Los resultados obtenidos del contenido de humedad de las muestras deshidratadas almacenadas en los empaques comerciales se muestran en la Fig. 2. Tal como se esperaba, se puede observar que la humedad aumentó con el tiempo de almacenamiento. A los 15 días, las muestras C-N mostraron el menor valor mientras que el resto de las muestras no presentaron diferencias significativas. Luego, las muestras tanto C-N como C-K presentaron mayor contenido de humedad hasta alcanzar 8,3% al final del almacenamiento mientras que las muestras pretratadas con microondas absorbieron menor humedad hasta el final del almacenamiento. En este sentido, se sabe por Fontan et al. (1982) que las isotermas de sorción de humedad de productos deshidratados depende de sus constituyentes como proteínas, almidón, celulosa, azucares, etc.“La sacarosa así como otros azucares con alto contenido en fructosa, tienen la propiedad de higroscopicidad, esto es, de absorber rápidamente agua”(Vaklavik et al.2008). Por lo tanto, se podríaexplicar la menor absorción de agua en las muestras pretratadas por el menor contenido de azucares. Barba et al. (2014) reportaron que la aplicación de microondas en bananas, disminuyó el contenido de azucares reductores por la reacción de Maillard comparado con el secado convectivo.
En cuanto al empaque, las muestras M-N presentaron menor absorción de humedad que las M-K. Este valor más bajo puede ser explicado por la menor VTVA que poseen los empaques negros con respecto al Kraft. Sin embargo esta diferencia no se observó en las muestras sin pretratamiento de microondas.

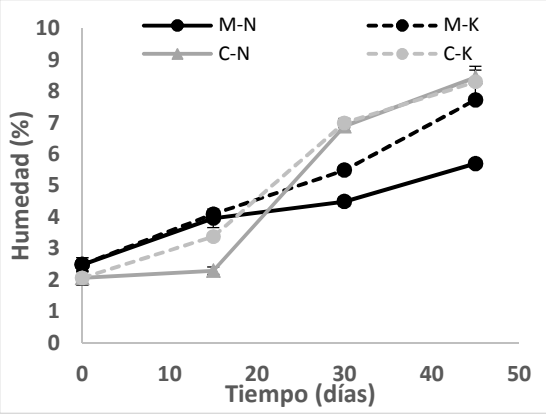


Figura 2: Contenido de humedad de muestras conservadas en empaques de alta barrera negro (N) y de papel (K) con secado convectivo (C) y pretratamiento de microondas (M).

3.3 *Contenido de carotenoides*

En la Fig.3 se muestran el contenido de carotenoides durante el almacenamiento de las muestras M y C en ambos envases estudiados.

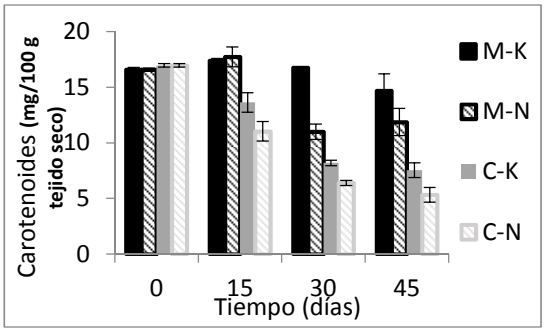


Figura 3: Contenido carotenoides de muestras pretratadas con microondas (M) conservadas en empaques negro (N) y de papel (K) y con secado

convectivo sin pretratamiento (C) en ambos envases.

En el día 0, el contenido de carotenoides descendió en aproximadamente un 50% con respecto al valor inicial (dato no mostrado) sin embargo entre los tratamientos aplicados no se evidenciaron cambios. A partir de los 15 días y hasta el final del almacenamiento, las muestras C mostraron menor contenido con respecto a las muestras M. En este sentido, Cui et al. (2004)reportaron cambios significativos cuando secaron rodajas de zanahoria por el método convectivo solo y con pretratamiento de microondas. Dichos autores atribuyeron a la reducción durante el microondas de la enzima lipoxigenasa, la cual es responsable de la degradación de los carotenoides.
En relación al empaque utilizado, se observó que el envase Kraft preservó mejor el contenido de carotenoides en comparación con las muestras envasadas en empaque negro, tanto en muestras C como M. Si biense podría esperar un resultado contrario teniendo en cuenta que los carotenoides pueden sufrir daño foto-oxidativo,Bechoff et al. (2010)noencontraron diferencias en la exposición a la luz solar cuando utilizaron envases opacos o claros durante el almacenamiento de chips de batata de pulpa naranja.Por lo tanto, la diferencia observada en este trabajo entre los envases no parece estar relacionada con el efecto de la luz.

3.4 Color

En la Fig.4 se muestra la evolución de la luminosidad, Croma y Hue (Fig. 4a, 4b y 4c respectivamente) durante el almacenamiento de las muestras deshidratadas.
Se observó que los valores de L* aumentaron entre el inicio y el final del almacenamiento de manera más evidente para las muestras C en ambos envases. Dicho cambio se debe a que las muestras se van tornando más claras con el tiempo debido a la pérdida de carotenoides, discutido previamente. Este comportamiento también fue reportado porPolat (2021)cuando almacenó rodajas de naranja deshidratadas envasada en diferentes películas plásticas.
En relación al Croma (Fig. 4b), este parámetro fue disminuyendo con respecto al tiempo de almacenamiento, siendo más notorio este cambio para las muestras C. Esto indicaría que el tratamiento de microondas permitió conservar mejor el color de las rodajas de zapallo. En la Fig. 5 se muestra el cambio de color entre las muestras C y M en bolsas negras a los 45 días, mostrando la diferencia que se reflejó en los cambios de color medidos.

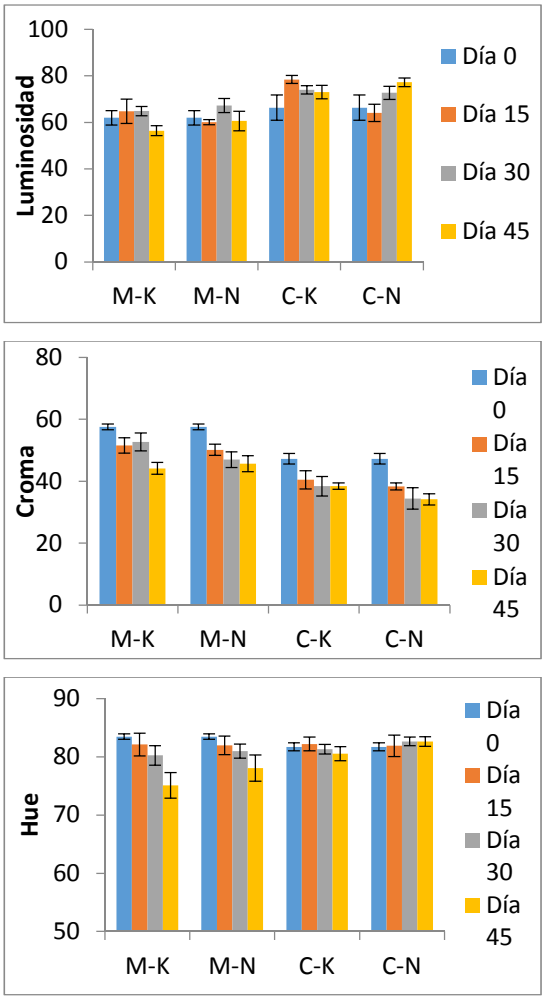


Figura 4:Luminosidad (a), Croma (b) y Hue (c) durante el almacenamiento de muestras pretratadas con microondas (M) y sin pretratar (C) envasadas en empaques negro (N) y de papel (K).

El tono indicado por el ángulo Hue, mostró un descenso para las muestras M con respecto al tiempo de almacenamiento mientras que las muestras C se mantuvieron prácticamente constantes (Fig. 4c).
Finalmente, al comparar la influencia del envase en los parámetros de color L*, Croma y Hue no se observaron diferencias significativas para ambas muestras estudiadas.

Figura 5: Rodajas de zapallo con pre tratamiento de microondas (arriba) y sin pretratar (abajo) almacenadas durante 45 días en empaque N.

4 CONCLUSIONES

En la selección del envase apropiado para almacenar snacks de zapallo, se tuvo en cuenta los que se utilizan en el mercado para alimentos deshidratados. Si bien el empaque tipo kraft puede resultar más atractivo para el consumidor, ya que la ventana transparente permite mostrar el producto, el mismo arrojó mayor valor de transmisión de vapor de agua comparado con el envase negro lo que se tradujo en mayor absorción de agua durante el almacenamiento.

El contenido de carotenoides es uno de los aspectos nutricionales más importantes y que además influye directamente en el color del producto. Se observó una disminución con el tiempo de almacenamiento. Sin embargo se pudo observar que el pretratamiento de microondas conservó mejor este parámetro de valor nutricional lo cual fue reflejado en la menor pérdida de color. Luego, al comparar los envases utilizados, el empaque Kraft si bien mostró mayor contenido de carotenoides comparado con el envase negro, este comportamiento no fue evidente en el cambio de color, ya que no se observaron diferencias significativas entre las películas plásticas utilizadas.

Por lo tanto, se puede concluir que el factor de pretratamiento con microondas fue más relevante que el factor envase en lo referido al contenido de carotenoides y de humedad. Además, para las muestras pretratadas, el empaque negro arrojó mejores resultados en cuanto a la absorción de agua por lo que sería el más apropiado para estudiar posteriormente la vida útil de dichos snacks de zapallo.

5 REFERENCIAS

AOAC. (2006). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists* (18 ed.).

Ashley, R. J. (1985). Permeability and Plastics Packaging. En *Polymer Permeability* (págs. 269-308). Chapman & Hall.

ASTM. (2005). Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials of the American Society for Testing and Materials. En *Annual book of*

Alves, R. M., García, E. E., & Bordín, M. R. (Enero de 1999). Influence of Packaging Material/ Sealing on the Quality of Biscuits. *Journal of Plastic Films and Sheeting, 15*, 57-71.

AOAC. (2006). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists* (18 ed.).

Ashley, R. J. (1985). Permeability and Plastics Packaging. En *Polymer Permeability* (págs. 269-308). Chapman & Hall.

ASTM. (2005). Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials of the American Society for Testing and Materials. En *Annual book of ASTM standard.*

Barba, A. A., d'Amore, M., Rispoli, M., Marra, F., & Lamberti, G. (2014). Microwave Assisted Drying of Banana: Effects on Reducing. *Czech Journal of Food Sciences, 32*(4), 369–375. doi:10.17221/536/2013-CJFS

Bechoff, A., Westby, A., Owori, C., Menya, G., Dhuique-Mayer, C., Dominique, D., & Tomlins, K. (2010). Effect of drying and storage on the degradation of total carotenoids. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 90*(7), 622-629. doi:10.1002/jsfa.3859

Cui, Z.-W., Xu, S.-Y., & Sun, D.-W. (2004). Effect of Microwave-Vacuum Drying on the Carotenoids Retention of Carrot Slices and Chlorophyll Retention of Chinese Chive Leaves. *Drying Technology, 22*(3), 563-575. doi:10.1081/DRT-120030001

de Escalada Pla, M., Ponce, N., Stortz, C., Gerschensona, L., & Rojas, A. (2007). Composition and functional properties of enriched fiber products. *LWT- Food Science and Technology, 40*(7), 1176–1185. doi:10.1016/j.lwt.2006.08.006

Di Rienzo, J., Balzarini, M., Gonzalez, l., Casanoves, F., Tablada, M., & Robledo, W. (2019). *Infostat Software Estadistico.* Obtenido de http://www.infostat.com.ar/9.11.21.

Fontan, C. F., Chirife, J., Sancho, E., & Iglesias, H. (1982). Analysis of a Model for Water Sorption Phenomena in Foods. *Journal of Food Science, 47*(5), 1590 - 1594. doi:10.1111/j.1365-2621.1982.tb04989.x

Guiné, R. P., & Barroca, M. J. (2012). Effect of drying treatments on texture and color of vegetables (pumpkin and green pepper). *Food and Bioproducts Processing, 90*(1), 58-63. doi:10.1016/j.fbp.2011.01.003

Konopacka, D., Seroczyńska, A., Korzeniewska, A., Jesionkowska, K., Niemirowicz-Szczytt, K., & Płocharski, W. (2010). Studies on the usefulness of Cucurbita maxima for the production of ready-to-eat dried vegetable snacks with a high carotenoid content. *LWT - Food Science and Technology, 43*(2), 302-309. doi:10.1016/j.lwt.2009.08.012

Lavelli, V., Zanoni, B., & Zaniboni, A. (2007). Effect of water activity on carotenoid degradation in dehydrated carrots. *Food Chemistry*, 1705-1711. doi:10.1016/j.foodchem.2007.03.033

Lee, D. S., & Robertson, G. L. (2021). Interactive influence of decision criteria, packaging film, storage temperature and humidity on shelf life of packaged dried vegetables. *Food Packaging and Shelf Life*. doi:10.1016/j.fpsl.2021.100674

Nawirska-Olszanska, A., Stepien, B., & Biesiada, A. (2017). Effectiveness of the fountain-microwave drying method in some. *LWT- Food Science and Technology*, 276-281. doi:10.1016/j.lwt.2016.11.067

Ngamwonglumlert, L., & Devahastin, S. (2018). Microstructure and storage stability of dried foods. En S. Devahastin, & e. al., *Food Microstructure and Its Relationship with Quality and Stability* (pág. 143). Elsevier. doi:10.1016/B978-0-08-100764-8.00008-3

Polat, S. (2021). Colour quality, ascorbic acid, total carotenoid and volatile compounds of dried orange slices. *Journal of Food of Processing and Preservation, 46*(6). doi:10.1111/jfpp.15898

Udomkun, P., Nagle, M., Argyropoulos, D., Mahayothee, B., Latif, S., & Muller, J. (2016). Compositional and functional dynamics of dried papaya as affected by storage time and packaging material. *Food Chemistry, 196*, 712-719. doi:10.1016/j.foodchem.2015.09.103

Vaclavik, V. A., Christian, E. W., & Campbell, T. (2008). *Essentials of Food Science* (Vol. 42). Springer.

ASTM standard.

Barba, A. A., d'Amore, M., Rispoli, M., Marra, F., & Lamberti, G. (2014). Microwave Assisted Drying of Banana: Effects on Reducing. *Czech Journal of Food Sciences, 32*(4), 369–375. https://doi.org/10.17221/536/2013-CJFS

Bechoff, A., Westby, A., Owori, C., Menya, G., Dhuique-Mayer, C., Dominique, D., & Tomlins, K. (2010). Effect of drying and storage on the degradation of total carotenoids. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 90*(7), 622-629. https://doi.org/10.1002/jsfa.3859

Cui, Z.-W., Xu, S.-Y., & Sun, D.-W. (2004). Effect of Microwave-Vacuum Drying on the Carotenoids Retention of Carrot Slices and Chlorophyll Retention of Chinese Chive Leaves. *Drying Technology, 22*(3), 563-575. https://doi.org/10.1081/DRT-120030001

de Escalada Pla, M., Ponce, N., Stortz, C., Gerschensona, L., & Rojas, A. (2007). Composition and functional properties of enriched fiber products. *LWT- Food Science and Technology, 40*(7), 1176–1185. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.08.006

Di Rienzo, J., Balzarini, M., Gonzalez, l., Casanoves, F., Tablada, M., & Robledo, W. (2019). *Infostat Software Estadistico.* http://www.infostat.com.ar/9.11.21.

Fontan, C. F., Chirife, J., Sancho, E., & Iglesias, H. (1982). Analysis of a Model for Water Sorption Phenomena in Foods. *Journal of Food Science, 47*(5), 1590 - 1594. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1982.tb04989.x

Guiné, R. P., & Barroca, M. J. (2012). Effect of drying treatments on texture and color of vegetables (pumpkin and green pepper). *Food and Bioproducts Processing, 90*(1), 58-63. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.01.003

Konopacka, D., Seroczyńska, A., Korzeniewska, A., Jesionkowska, K., Niemirowicz-Szczytt, K., & Płocharski, W. (2010). Studies on the usefulness of Cucurbita maxima for the production of ready-to-eat dried vegetable snacks with a high carotenoid

content. *LWT - Food Science and Technology, 43*(2), 302-309. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.08.012

Lee, D. S., & Robertson, G. L. (2021). Interactive influence of decision criteria, packaging film, storage temperature and humidity on shelf life of packaged dried vegetables. *Food Packaging and Shelf Life*. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100674

Nawirska-Olszanska, A., Stepien, B., & Biesiada, A. (2017). Effectiveness of the fountain-microwave drying method in some. *LWT- Food Science and Technology*, 276-281. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.11.067

Ngamwonglumlert, L., & Devahastin, S. (2018). Microstructure and storage stability of dried foods. En S. Devahastin, & e. al., *Food Microstructure and Its Relationship with Quality and Stability* (pág. 143). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100764-8.00008-3

Polat, S. (2021). Colour quality, ascorbic acid, total carotenoid and volatile compounds of dried orange slices. *Journal of Food of Processing and Preservation, 46*(6). https://doi.org/10.1111/jfpp.15898

Udomkun, P., Nagle, M., Argyropoulos, D., Mahayothee, B., Latif, S., & Muller, J. (2016). Compositional and functional dynamics of dried papaya as affected by storage time and packaging material. *Food Chemistry, 196*, 712-719. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.103

Vaclavik, V. A., Christian, E. W., & Campbell, T. (2008). *Essentials of Food Science* (Vol. 42). Springer.

Efecto de la aplicación de radiación UV-C sobre la calidad de berenjena (*Solanummelongena* L.) IV gama

Lemos, María L.[1]; Farías, Mariana J.[1,2]; Rodríguez, Silvia del C.[1,2];Gutiérrez, Diego R.[1].

(1) *Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Facultad de Agronomía y Agroindustrias, UniversidadNacional de Santiago del Estero (UNSE). diegorgutierrez@hotmail.com; lauralemos86@gmail.com*

(2) Centro de Investigación en Biofísica Aplicada y Alimentos (CIBAAL), CONICET-UNSE. mfariasing@gmail.com; silviadepece@hotmail.com

RESUMEN

En este trabajo se estudió el efecto de la aplicación de radiación UV-C (1, 2, 5 y 10 kJ m^{-2}) como método de preservaciónsobre los atributos sensoriales, índice de pardeamiento (IP), ácido ascórbico (AA), compuestos fenólicos totales y las actividades de las enzimas relacionadas con el pardeamiento (polifenoloxidasa(PPO) y fenilalanina amonioliasa (PAL)) de berenjenas IV gama durante 10 días a 4 °C. Muestras no tratadas se usaron como control. Los tratamientos con 5 y 10 kJ m^{-2} presentaron valores superiores de actividad de PPO e IP, con una pérdida de 50% y 30% de AA y fenoles respectivamente con respecto al control, y una calidad sensorial inferior a los 4 días. Por el contrario, las dosis de 1 y 2 kJ m^{-2} no afectaron la actividad de la PAL y 1 kJ m^{-2}presentóuna aceptación sensorial durante al menos 6 días, con valores de IP y actividad de PPO significativamente bajos, y mayor contenido de fenoles y AA, en comparación con los otros tratamientos. Por lo tanto, el tratamiento con 1 kJ m^{-2} podría ser una tecnología efectiva para mantener la calidad y retrasar el pardeamiento de las berenjenas recién cortadas o IV gama.

ABSTRACT

In this work, the effect of the application of UV-C radiation (1, 2, 5 and 10 kJ m^{-2}) was studied as a preservation method on sensory attributes, browning index (BI), ascorbic acid (AA), total phenolic compounds and the activities of enzymes related to browning (polyphenol oxidase (PPO) and phenylalanine ammonium lyase (PAL)) of IV gamma eggplants for 10 days at 4 °C. Untreated samples were used as controls. The treatments with 5 and 10 kJ m^{-2} presented higher values of PPO activity and BI, with a loss of 50% and 30% of AA and phenols compared with the control, and sensory quality fewer than 4 days. In contrast, 1 and 2 kJ m^{-2} doses did not affect PAL activity and 1 kJ m^{-2} presented sensory acceptance for at least 6 days, with significantly lower BI and PPO activity values, and higher content of phenols and AA, in comparison with the other treatments. Therefore, the treatment with 1 kJ m^{-2} could be an effective technology to maintain quality and delay browning of fresh-cut or IV gamma eggplants.

Palabras claves: berenjenas IV gama - radiación UV-C -calidad -pardeamiento

Keywords: IV gamma eggplants - UV-C -quality – browning

1.INTRODUCCIÓN

En los últimos añosel consumo de frutas y verdurasfrescas cortadas o IV gama, se ha incrementado debido a un mayor interés en dietas saludables y nutritivas, por su contenido en fitoquímicos y compuestos antioxidantes que son beneficiosos para la salud humana (Gutiérrez et al., 2018; Torales et al., 2020).Sin embargo, las operaciones de procesamiento llevadas a cabo durante la elaboración delos vegetales recién cortados como pelado, cortado y rebanado dan como resultado tejidos dañados que provocan reacciones adversas que incluyen sabores

desagradables, pérdida de textura y color,pardeamiento y desarrollo microbiano entre otros (Mudau et al., 2018; Torales et al., 2020).La berenjena (*Solanummelongena* L.) pertenece a la familia de las solanáceas, y se caracteriza por su elevado contenido en compuestos bioactivos, los cuales tienen efectos benéficos para la salud humana ya que se asocian con menores tasas de mortalidad por cáncer y enfermedades cardiovasculares (García-Salas et al., 2014). La berenjena fresca cortada, al igual que la mayoría de los productos recién cortados, constituyen un producto con potencial crecimiento en la industria alimentaria, debido a la conveniencia de su presentación y beneficios para la salud (Li et al., 2012). Sin embargo, la comercialización de este producto se ve limitada por su vida útil relativamente corta, debido al rápido desarrollo del pardeamiento inmediatamente luego del corte y que se incrementa con el tiempo de conservación (Hussain et al., 2014). El cambio en la coloración del tejido se debe principalmente a la acción de la enzima polifenol oxidasa (PPO) que, en presencia de oxígeno, oxida los compuestos fenólicos a polímeros marrones (Chen et al., 2017; Sikora ySwieca, 2018). Por lo tanto, el pardeamiento enzimático después de un procesamiento mínimoconstituye el principal problema por su pérdida de atractivo visualy la consecuente reducción en su conservación como vegetal recién cortado.Diferentes trabajos han sido publicados en los últimos años proponiendo el uso de la radiación UV-C para la desinfección de las superficies de frutas y hortalizas frescas cortadas (Adetuyi et al., 2020; Gutiérrez et al., 2017; Li et al., 2016). En este sentido, Artés et al. (2009) informaron que la radiación UV-C inhibe en general el crecimiento microbiano, y retrasa la descomposición y la senescencia de estos productos. También es importante mencionar que el uso combinado de UV-C y atmósferas modificadas pasivas (AMP), logradas con el envasado con films poliméricos fue eficaz para reducir el desarrollo de bacterias psicrófilas, coliformes y levaduras en lechuga frescacortada (Allende y Artés, 2003) y en rúcula (Gutiérrez, 2016), sin afectar negativamente a la calidad sensorial. La dosis efectiva de radiación UV-C depende del tipo de producto y dosis demasiado elevadas pueden causar deterioro en la calidad del vegetal. Sin embargo, la respuesta de cada vegetal a este tratamiento depende principalmente de la dosis recibida y del producto en particular (Cote et al., 2013).Además, otros estudios indicaron que la radiación UV-C era efectiva en la inactivación de la enzima PPO, y esto lo convierte en un buen métodopara evitar la oxidación de alimentos como la manzana refrigerada (Manzocco et al., 2009) y champiñones frescos (Lu et al., 2016). Estas investigaciones demuestran que el tratamiento con UV-Cpuede ser una excelente tecnología de conservación para los vegetales frescos cortados.Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue estudiar el efecto de la aplicación de la radiación UV-C sobre atributos de la calidad sensorial, el contenido de compuestos bioactivos, y la actividad de las enzimas Fenilalanina amonio liasa y Polifenoloxidasa, en berenjenas IV gama durante su almacenamiento refrigerado.

2.MATERIALES Y METODOS

2.1 Preparación de la muestra, tratamientos y envasado

Berenjenas del cv. BlackNitefueron adquiridasen un productoragrícola de Santiago delEstero, Argentina. Los frutos fueron seleccionadosde acuerdo a tamaño y peso uniforme (300 g aproximadamente) y superficie lisa libre deimperfecciones. A continuación, se lavaron conagua potable, sanitizaron con agua clorada (150ppm-3min), secaron y cortaron longitudinalmenteen láminas de 1 cm de espesor. Posteriormente, sesumergieron en agua potable por 5 min y se secaron con papel absorbente en una superficie limpia. Todo el procesose llevó a cabo en una sala a temperatura controlada(16 °C ± 2 °C) en condiciones higiénico-sanitariasadecuadas.Las láminas de berenjenas fueron tratadas con diferentes dosis de UV-C: No tratadas con UV-C (control), 1 kJ m^{-2} (60 s), 2 kJ m^{-2} (110 s), 5 kJ m^{-2}(290 s) y 10 kJ m^{-2} (590 s), el tiempo de exposición se incluye entre paréntesis. Posteriormente, tres láminas de berenjena fueron envasadas manualmente en bandejas de polipropileno (PP) de 17,4 cm × 13,8 cm × 4,8 cm (Cellpack S.A., Santa Fe, Argentina) y termoselladas con film de PP biorientado de 35 µm de espesor con una tasa de transmisión de O_2 5.000 $cm3.m^{-2}.24h^{-1}.atm^{-1}$, 18.000 cm^3 $CO_2.m^{-2}.24h^{-1}.atm^{-1}$ y vapor de agua de 110 $g.m^{-2}.24h^{-1}.atm^{-1}$(datos proporcionados por INTI, Argentina).Luego se almacenaron a 4 °C por 10 días y se consideró como unidad experimental una bandeja (con tres láminas), de

aproximadamente 180 g, y los resultados se expresaron como medias ± DE.

2.2 Equipo de radiación UV-C

Las láminas de berenjena se irradiaron en una cabina de acero inoxidable provista de 12 lámparas germicidas (254,7 nm, TUV 36W/G36, Philips, Ámsterdam, Países Bajos) distribuidas por igual en la parte superior e inferior de las muestras, tal como se ha descripto en Gutiérrez et al. (2016). La intensidad de la luz se mantuvo constante (0,017 kW m^{-2}) y la dosis recibida se midió con un radiómetro digital portátil (Cole-ParmerInstrumentCompany, Vernon Hill, IL).

2.3 Evaluación sensorial

Durante el almacenamiento, 9 jueces entrenadosevaluaron visualmente las láminas de berenjena. Laapariencia general y el pardeamiento se puntuaronen una escala del 1 al 9, siendo 1: muy mala y 9:excelente. Las puntuaciones por debajo de 5 (limite aceptable) seconsideraron el punto de corte para los atributos decalidad (Ghidelli et al., 2013).

2.4 Color

Los valores de color de la superficie de las láminasde berenjenas se determinaron utilizando uncolorímetro Minolta CR-300 Chroma Meter (Osaka,Japón). Los parámetros de color, L* (luminosidad),a* (cromaticidad rojo-verde) y b * (cromaticidadamarillo-azul) fueron usados para calcular el índicede pardeamiento (IP) con la siguiente ecuación (Bal et al., 2011):

$$IP = \frac{(x-0{,}31)*100}{0{,}17} \quad (1)$$

Dónde:

$$x = \frac{(a+1{,}75*L)}{(5{,}645*L+a-3{,}012*b)} \quad (2)$$

Para ello, se tomaron un total de 6 lecturas de amboslados de cada lámina de berenjena de cada unidadexperimental.

2.5 Contenido de fenoles totales

El contenido de compuestos fenólicos se realizó de acuerdo a Singleton et al. (1999) a partir de un extracto metanólico obtenido según Gutiérrez et al. (2015) con mínimas modificaciones. Para ello, muestras de berenjena congelada de 1 g se homogeneizaron con 20 mL de metanol en vórtex durante 5 min, y posteriormente se centrifugó durante 40 min a 6000 x g a 4°C. Se mezclaron 0,35 mL del sobrenadante con 1 mL de agua destilada y 0,05 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu (1:1 v/v, diluido con agua destilada), dejando reaccionar por 3 min. A continuación, se adicionó a la solución 0.1 mL de Na_2CO_3 al 20% (p/v) en 0.1 mol L^{-1} de NaOH y 1 mL de agua destilada, posteriormente se agitó la solución por 1 min y se dejó reaccionar por 30 min. La absorbancia se midió por triplicado a 760 nm utilizando un espectrofotómetro UV-visible (JASCO V-630, Japón). Los compuestos fenólicos se calcularon usando ácido clorogénico como estándar. Los resultados se expresaron como g equivalentes de ácido clorogénico (EAC) por kg de tejido fresco.

2.6 Contenido de ácido ascórbico

El contenido de ácido ascórbico (AA) se determinó espectrofotométricamente a 525 nm según lo descrito por Kampfenkel et al. (1995),el cual se basa en la reducción de Fe^{+3} a Fe^{+2} por el AA. Para ello, se prepararon extractos homogenizando 8 g de tejido fresco de berenjenas con 12 mL de ácido tricloroacético (TCA) al 6 % (p/v). La mezcla se dejó reposar en hielo durante 15 min. Luego, el homogeneizado se centrifugó a 12 000 x g a 4 °C durante 20 min. Se utilizaron 0,2 mL del sobrenadante para las mediciones con las siguientes soluciones: tampón fosfato 0,2 mol L^{-1} (pH 7,4), TCA al 10 % (p/v), H_3PO_4 al 42 % (v/v), 2,2'-dipiridilo disuelto en etanol al 70% (v/v) y $FeCl_3$ al 3% (p/v). Todas las mediciones se realizaron por triplicado y los resultados se expresaron en mg de AA por kg de tejido fresco usando una solución estándar de AA.

2.7 Actividad de la enzima Polifenol oxidasa (PPO)

Aproximadamente 5 g de tejido congelado se homogeneizaron con 20 mL de tampón fosfato (0,1 mol L^{-1} NaH_2PO_4, 0,1 M Na_2HPO4, pH 6,0) suplementado con 0,1 % v/v Triton X-100 y 30 g L^{-1} PVPP. El homogeneizado se agitó durante 45 min y se centrifugó a 12.000 x g durante 30 min a

4 ºC. El sobrenadante se analizó para determinar la actividad de la PPO. La actividad de la PPO se determinó de acuerdo con el método de Concellón et al. (2004), utilizando 4-metil catecol como sustrato. La actividad enzimática se ensayó espectrofotométricamente mediante la adición de 1 mL de 20 mmol L^{-1} de pirocatecol en tampón fosfato (0,1 mol L^{-1} NaH_2PO_4, 0,1 mol L^{-1} Na_2HPO4, pH 6,5) con 50 µL del extracto enzimático. Los cambios de absorbancia a 410 nm con el tiempo se registraron utilizando un espectrofotómetro UV-vis. Una unidad de actividad de PPO (UEA) se definió como la cantidad de enzima que produce un aumento de absorbancia de 0,01 por minuto en las condiciones descritas anteriormente. La actividad de la PPO se expresó como EAU por mg de proteína. Todas las medidas se realizaron por triplicado.

2.8 Actividad de la enzima Fenilalanina amonio liasa (PAL)

Berenjena congelada (5 g) se homogenizó con 20 mL de tampón $Na_2B_4O_7 \cdot 10\ H_2O$ 0,1 mol L^{-1} (pH= 8,8) que contenía 2 mmol L^{-1} de EDTA, 5 mmol L^{-1} de 2-mercaptoetanol y 30 g L^{-1} de PVPP, durante 30 min a 12000 x g a 4 °C. El sobrenadante se extrajo para su posterior medición. Para ello, se añadieron 0,3 mL del extracto a una solución que contenía 2,2 mL de tampón $Na_2B_4O_7 \cdot 10\ H_2O$ 0,3 mol L^{-1} (pH= 8,8) y 0,5 mL de una solución de fenilanalanina 0,01 mol L^{-1}. La absorbancia se midió a 290 nm cada 15 min expresando los resultados en unidades de actividad PAL por mg de proteína, donde una unidad de PAL equivale a 0,01 de aumento en abs por hora.

2.9 Determinación de proteínas

El contenido de proteínas soluble fue determinado según el método de Bradford (1976)para cada tratamiento y período de almacenamiento. Las mediciones se realizaron por triplicado, expresando los resultados en mg de proteína, utilizando como solución de referencia albúmina de suero bovino.

2.10 Análisis estadístico de datos

Los resultados fueron analizados por medio de unAnálisis de Varianza (ANOVA), y las medias secompararon por la prueba de diferencias mínima significativa (DMS) a un nivel de significancia de0,05. El programa estadístico utilizado para realizarel análisis estadístico fue el Infostat Versión 2011.

3.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Evaluación sensorial

La Figura 1 muestra la evolución de las puntuaciones asignadas por los jueces evaluadores a los atributos sensoriales (apariencia general y pardeamiento) de las berenjenas tratadas con diferentes dosis de radiación UV-C, durante el almacenamiento a 4 °C.

Inicialmente, no se registraron diferencias significativas en la apariencia general entre los tratamientos. Posteriormente, las puntuaciones disminuyeron a medida que aumentaba el tiempo de almacenamiento. En particular, el control registró una disminución significativa del puntaje a partir del día 2, alcanzando características indeseables a partir del día 4. Esto se debe al rápido deterioro del producto por su mínimo procesamiento que desencadena diferentes alteraciones en las características visuales del producto.

Por otro lado, en las muestras sometidas a UV-C, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos 5 y 10 kJ UV-C m^{-2} durante la conservación refrigerada, y presentaron valores significativamente menores respecto de los tratamientos con las dosis más bajas (1 y 2 kJ UV-C m^{-2}) hasta los 6 días. Las muestras tratadas con las dosis más altas alcanzaron el valor límite de aceptación para la apariencia general, prácticamente al cuarto día, por lo cual se puede afirmar que las dosis de 5 y 10 kJ UV-C m^{-2} no fueron convenientes para su conservación. En cuanto a las muestras tratadas con 1 kJ UV-C m^{-2}, estas registraron las puntuaciones más altas de este descriptor y fueron significativamente mayores respecto del resto de los tratamientos evaluados hasta el octavo día. La dosis de 1 kJ UV-C m^{-2} permitió que las muestras tuvieran una apariencia general buena aún hasta los 6 días, mientras que las muestras tratadas con 2 kJ UV-C m^{-2} a los 6 días obtuvieron puntajes por debajo del límite de aceptación.

Se registró una tendencia similar para el atributo de pardeamiento, lo que indica que las dosis más bajas retrasaron la aparición del color marrón (Fig. 1). En particular, la dosis de 1 kJ UV-C m^{-2}

fue el más adecuado para conservar el color del producto y retardar el pardeamiento de la superficie cortada durante los 6 días de almacenamiento.

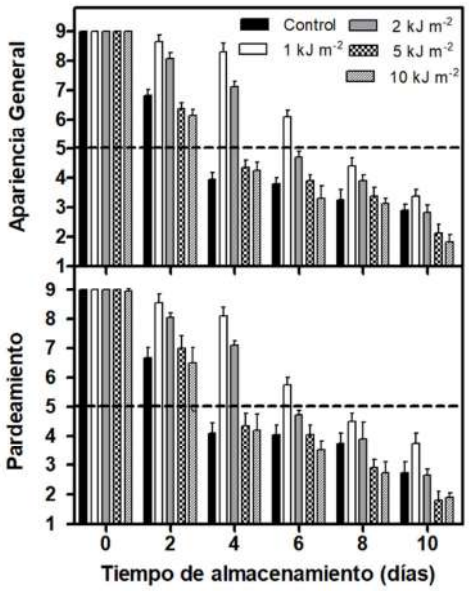


Figura 1: Apariencia general y pardeamientode las berenjenas frescas cortadas tratadas a diferentes dosis de radiación UV-C y envasadas con AMP, durante el almacenamiento a 4 °C.

Resultados similares se registraron en manzanas cortadas, ya que la exposición a dosis bajas de luz UV-C (1,2 kJ m^{-2}) mejoró la estabilidad del color, mientras que las dosis más elevadas (6, 12 y 24 kJ m^{-2}) promovieron el pardeamiento enzimático en la superficie cortada, atribuyendo este efecto a un mayor daño del tejido celular (Manzocco et al., 2011).

3.2 Color

La generación del color pardo, producto del desarrollo de polímeros coloreados por acción de la enzima PPO sobre los compuestos fenólicos, como ya se ha mencionado, es uno de los principales factores limitantes de la calidad de las berenjenas frescas cortadas. Es por ello que el índice de pardeamiento (IP) es uno de los indicadores más utilizados para evaluar las modificaciones de color debido a la formación de pigmentos pardos en vegetales (Li et al., 2016).A partir de las mediciones de los parámetros de color L* a* y b*, se calculó el IP de las muestras tratadas con diferentes dosis de radiación UV-C durante su almacenamiento refrigerado. Así, en la Fig.2 se presenta la evolución de este parámetro en las muestras tratadas con UV-C y envasadas en AMP, durante el almacenamiento refrigerado.

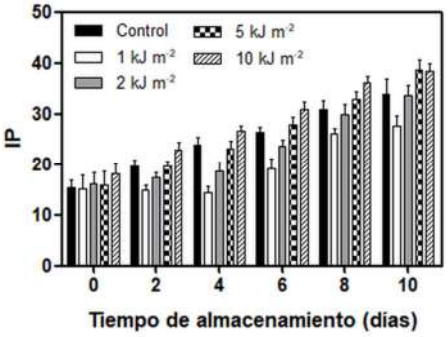


Figura 2: Índice de pardeamiento (IP) de las berenjenas frescas cortadas tratadas a diferentes dosis de radiación UV-C y envasadas con AMP, durante el almacenamiento a 4 °C.

Inmediatamente de tratadas las berenjenas con las distintas dosis de UV-C presentaron valores de IP de aproximadamente 15 - 17, al igual que el control, no encontrándose diferencias significativas entre tratamientos. Posteriormente, en el control y en todas las muestras tratadas, el IP fue acrecentándose durante el período de almacenamiento refrigerado, pero este aumento fue más pronunciado en las muestras con las mayores dosis aplicadas. Así, las muestras tratadas con 10 kJ UV-C m^{-2} alcanzaron a los 4 días una puntuación promedio de 26, valor establecido como límite para la comercialización del producto. El control y las muestras tratadas con 5 kJ UV-C m^{-2} lo superaron luego de los 4 días, mientras que las muestras tratadas 2 kJ UV-C m^{-2} lo hicieron luego de los 6 días. Las muestras tratadas con 1 kJ UV-C m^{-2} registraron los valores más bajos ($P < 0,05$) de todos los tratamientos (incluido el control) a partir de los 4 días de conservación, alcanzando el valor límite de IP aceptable antes de los 8 días, ya que en ese tiempo presentó valores de 26,05 ± 1,08. Entonces se puede decir que las dosis de radiación UV-C de 5 y 10 kJ m^{-2} no fueron adecuadas para inhibir el pardeamiento y mantener la calidad visual de las berenjenas.
Por lo tanto, las dosis de UV-C de 1 kJ m^{-2} fueron las más adecuadas para reducir el desarrollo del pardeamiento en las muestras, presentando el menor aumento de IP. Estos resultados están de acuerdo con los de Huang et al. (2017), quienes

informaron que el tratamiento con radiación UV-C (4,5 kJ m^{-2}) inhibía la IP en aproximadamente un 37% en el lirio bulbo mínimamente procesado en comparación con el control (sin tratar).

3.3Contenido de fenoles totales

La evolución de compuestos fenólicos para las láminas de berenjenas tratadas con diferentes dosis de radiación UV-C se muestra en la Fig. 3. Inicialmente, el contenido de fenoles presentó valores entre 1,43 y 1,70 g por kg de tejido fresco, siendo el mayor valor registrado las de lasmuestras tratadas con 5 y 10 kJ UV-C m^{-2}. Posteriormente los fenoles disminuyeron significativamente ($P < 0.05$) hasta el día 8 de almacenamiento en las muestras tratadas con 5 y 10 kJ UV-C m^{-2}, manteniéndose luego sin variaciones significativas hasta el final del almacenamiento, sin encontrarse diferencias entre las dosis. Por otra parte, el contenido de fenoles de los tratamientos control y 1 y 2 kJ UV-C m^{-2}se mantuvieron estables hasta los 2 días y luego disminuyeron significativamente a los 4 días y se mantuvieron estables a lo largo de la conservación. Sin embargo, el tratamiento con 1 kJ UV-C m^{-2} fue el que presentó la menor disminución, por lo que permitió conservar los niveles de compuestos fenólicos con menores variaciones durante el almacenamiento, registrándose una disminución de aproximadamente del 10 %, al final de la conservación refrigerada. Por lo tanto, estos resultados demostraron que la aplicación de 1 kJ UV-C m^{-2} tuvo un efecto positivo en las berenjenas, ya que los niveles iniciales de fenoles presentaron la menor variación al finalizar la conservación, respecto de los otros tratamientos estudiados. Los resultados descriptos en esta sección están en concordancia con trabajos realizados en diferentes frutas, tales como frutillas y arándanos, reportados por Erkan et al. (2008) y Perkins-Veazie et al. (2008).

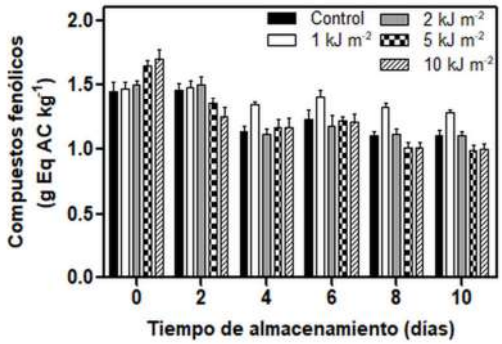


Figura 3: Contenido de compuestos fenólicos de las berenjenas frescas cortadas tratadas a diferentes dosis de radiación UV-C y envasadas con AMP, durante el almacenamiento a 4 °C.

3.4 Contenido de ácido ascórbico

La variación del contenido de ácido ascórbico en las berenjenas frescas cortadas tratadas con UV-C presentó una tendencia general a disminuir durante de almacenamiento a 4 °C, tal como se presenta en la Fig. 4.Las muestras tratadas con 1 y 2 kJ UV-C m^{-2} presentaron valores iniciales de aproximadamente 5,8 mg 100 g^{-1} de tejido fresco, no encontrándose diferencias significativas con las muestras control. En las muestras tratadas con 5 y 10 kJ UV-C m^{-2}, el análisis estadístico puso de manifiesto que la radiación UV-C causó una reducción significativa inmediatamente después de la aplicación del tratamiento, reduciendo en aproximadamente un 16 y 28 %, respectivamente. Posteriormente, durante el almacenamiento el contenido de AA disminuyó paulatinamente en todas las muestras, siendo las berenjenas tratadas con las dosis más elevadas (5 y 10 kJ UV-C m^{-2}) las quemenores valores registraron al cabo de los 8 días de almacenamiento reduciéndose aproximadamente un 45 % del valor inicial del control.Resultados similares con dosis altas fueron reportados en vegetales como mangos (González-Aguilar et al., 2007), y mandarina (Shen et al., 2013).

Por otro lado, las muestras tratadas con 1 y 2 kJ m^{-2} y el control, registraron los mayores valores de AA durante los 4 primeros días, con una menor reducción al cabo de los 8 días de conservación, de aproximadamente 27 %, 32 % y 40 % respectivamente, en comparación a su valor inicial. El mayor contenido de AA en frutos tratados con 1.0 kJ UV-C m^{-2} podría deberse a

que esta dosis podría haber activado mecanismos de defensa beneficiosos, como la inactivación de las enzimas ascorbato oxidasa, la inducción de la formación de compuestos fenólicos, la reducción de la frecuencia respiratoria, etc., mejorando la tolerancia a los mecanismos que provocan el estrés oxidativo (Darré et al., 2022).Se reportaron otros estudios en los que tratamientos con UV-C no tuvieron efectos adversos sobre el contenido de AA de arándanos (Perkins-Veazie et al., 2008) y sandía recién cortada (Artés-Hernández et al., 2010).

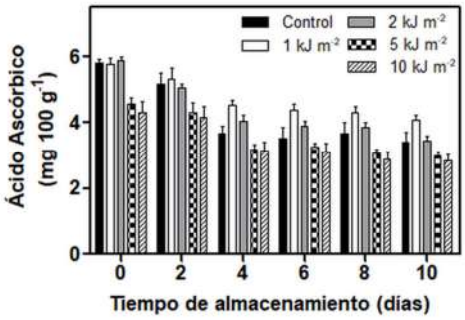


Figura 4: Contenido de ácido ascórbicode las berenjenas frescas cortadas tratadas a diferentes dosis de radiación UV-C y envasadas con AMP, durante el almacenamiento a 4 °C.

3.5 Actividad de la enzima PAL

El pardeamiento en la superficie cortada de los vegetales es una reacción compleja que involucra varios factores tales como sustratos fenólicos, enzimas, exposición al O_2, etc. (Teoh et al., 2016). Entre las enzimas que participan en la síntesis de compuestos fenólicos, se encuentra la PAL, a través de la ruta del ácido shikímico (Huque et al., 2013; Banerjee et al., 2015).Debido a que la aplicación de la radiación UV-C tuvo efecto en el contenido de los compuestos fenólicos solubles, y este fue dependiente de la dosis aplicada, se consideró conveniente evaluar el efecto de la radiación UV-C en la evolución de la actividad de la PAL de las berenjenas IV gama.El efecto de la radiación UV-C en la actividad PAL de berenjena frescas cortadas se muestra en la Fig. 5.

Luego de aplicados los tratamientos 5 y 10 kJ UV-C m^{-2}, en forma inmediata se registró un aumento de la actividad específica de la PAL, respecto de las muestras sin tratar. Posteriormente, estos valores fueron disminuyendo paulatinamente, alcanzando al final de la conservación niveles similares al control al inicio del almacenamiento. No se encontraron diferencias significativas entre ambos tratamientos en el período estudiado. Las dosis de 1 y 2 kJUV-C m^{-2}no tuvieron efectosinfluencia en la actividad de PAL ya que mantuvieron niveles similares al control durante todo el almacenamiento, presentando valores significativamentesuperiores a las dosis de 5 y 10 kJ m^{-2} a partir del día 8.En general la actividad específica de la enzima PAL presentó un comportamiento similar a la evolución de los fenoles durante el almacenamiento.Resultados similares fueron reportados en frutillas frescas cortadas tratadas con UV-C, ya que la radiación generó un aumento de la enzima PAL mayor que las muestras control (sin irradiar), con una correlación positiva con el contenido de fenoles (Li et al., 2019).

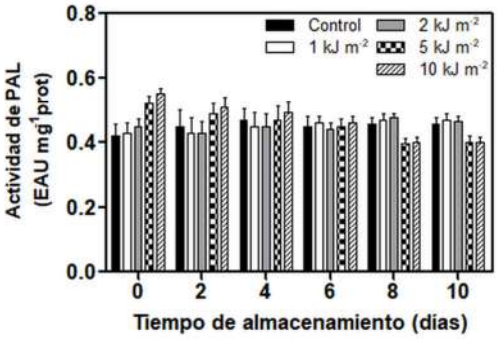


Figura 5: Actividad de enzima fenilalanina amonio liasa (PAL)de las berenjenas frescas cortadas tratadas a diferentes dosis de radiación UV-C y envasadas con AMP, durante el almacenamiento a 4 °C.

3.6 Actividad de la enzima PPO

Inicialmente, todas las muestras presentaron niveles similares de la actividad de la enzima, de aproximadamente 6 UEA mg^{-1} de proteína (Fig. 6). Durante los primeros 6 días de almacenamiento, los tratamientos control ylas dosis más altas de 5 y 10 kJ UV-C m^{-2}, mostraron un aumento significativo en la actividad de la PPO, luego permanecen constante, excepto para estas dosis de UV-C que mostraron un incremento hasta el día 8, siendo estos los valores más altos registrados en comparación con el resto de los tratamientos (aproximadamente un 86 % mayor del valor inicial).Por otro lado, las

muestras tratadas con 1 kJ UV-C m^{-2}, presentaron niveles de PPO prácticamente constantes (P > 0,05) hasta el cuarto día y posteriormente aumentó lentamente hasta alcanzar al final del almacenamiento niveles de aproximadamente un 20 % respecto del nivel inicial. Por otra parte, si bien el tratamiento de 2 kJ UV-C m^{-2} presentó la misma tendencia que el de 1 kJ UV-C m^{-2}, la actividad de la PPO fue significativamente mayor a éste último a partir del cuarto día, alcanzando al final del periodoevaluado niveles de la enzima aproximadamente un 40 % respecto del valor inicial.De acuerdo a estos resultados se puede afirmar que la radiación UV-C tuvo efecto sobre la actividad de la PPO, dependiendo de la dosis aplicada, ya que las muestras tratadas con 1 y 2 kJ UV-C m^{-2} presentaron un comportamiento diferente del resto de las muestras evaluadas, ya que registraron un aumento más lento durante el almacenamiento. Los tratamientos con 5 y 10 kJ UV-C m^{-2} registraron una mayor actividad respecto de las dosis más bajas, durante todo el almacenamiento, sin diferencias significativas con el control hasta los 6 días. Estos resultados permiten explicar el nivel de compuestos fenólicos y el IP registrados (Fig.2 y 3), siendo por lo tanto el tratamiento de 1 kJ UV-C m^{-2} el más adecuado para reducir el pardeamiento enzimático de las berenjenas IV gama, hasta al menos 6 días.

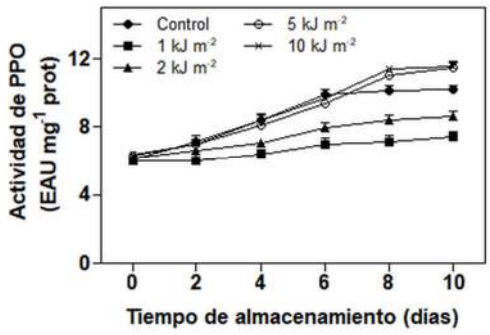


Figura 6: Actividad de enzima polifenoloxidasa (PPO) de las berenjenas frescas cortadas tratadas a diferentes dosis de radiación UV-C y envasadas con AMP, durante el almacenamiento a 4 °C.

Efectos similares fueron reportadospor Huang et al. (2017) en bulbos de lirio mínimamente procesados e irradiados con 4, 5 kJ UV-C m^{-2}, se observó que el tratamiento con UV-C inhibió el pardeamiento enzimático al reducir la actividad de la PPO durante sualmacenamiento. Además, esta dosis de UV-C favoreció el contenido de fenoles incrementando su valor, atribuido por un aumento de la enzima PAL. De acuerdo a lo mencionado en este capítulo, el tratamiento con UV-C proporciona una estrategia simple y económica que prolonga la vida útil y retrasa la senescencia de las verduras recién cortadas (Gutiérrez et al., 2015; Park y Kim, 2015), tal como las berenjenas, pudiendo contar con alimentos de buena calidad.

4. CONCLUSION

Los resultados de este estudio sugieren que el tratamiento de1 kJUV-C m^{-2}fue la más adecuada para la conservación de la calidad visual de las berenjenas frescas cortadas, ya que indujo menores valores de IP, permitiendo conservar la calidad de fresco por mayor tiempo (durante al menos 6 díasa 4°C). Este tratamiento permitió mantener valores más estables del contenido de compuestos fenólicos y menor pérdida de ácido ascórbicodurante el almacenamiento refrigerado. Además permitió mantener la actividad de la PPO en niveles constantes durante 4 días y no afectó la actividad PAL.Por lo tanto, la aplicación de la dosisde 1 kJ UV-C m^{-2} complementado con embalaje de film de polipropilenoy el almacenamiento en frío, podría usarse para mantener la calidad y retardar el pardeamiento enzimático de las berenjenas recién cortadas.

5.REFERENCIAS

Adetuyi, F. O., Karigidi, K. O., yAkintimehin, E. S. (2020). Effect of postharvest UV-C treatments on the bioactive components, antioxidant and inhibitory properties of clerodendrumvolubile leaves.*Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 19(1), 7–13.https://doi.org/10.1016/j.jssas.2018.03.005

Allende, A., y Artés, F. (2003). UV-C radiation as a novel technique for keeping quality of fresh processed „LolloRosso" lettuce.*Food Res Int.* 36, 739–746.https://doi.org/10.1016/S0963-9969(03)00054-1

Artés, F., Gómez, P., Aguayo, A., Escalona, V., y Artés-Hernández, F. (2009). Sustainable sanitation techniques for keeping quality and safety of fresh-cut plant commodities.*Postharvest Biology and Technology*, 51: 287-

296.https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.10.003

Artés-Hernández, F., Robles, P. A., Gómez, P. A., Tomás-Callejas, A., y Artés, F. (2010).Low UV-C illumination for keeping overall quality of fresh-cut watermelon.*Postharvest Biology and Technology,* 55: 114–120. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.09.002

Bal, L. M., Kar, A., Satya, S., yNaik, S. N. (2011). Kinetics of colour change of bamboo shoot slices during microwave drying. International *Journal Food Science and Technology,* 46, 827–833.https://doi.org/10.1111/j.1365-21.2011.02553.x

Banerjee, A., Penna, S., y Variyar, P. S. (2015). Allylisothiocyanate enhances shelf life of minimally processed shredded cabbage. *Food Chemistry*, 183, 265-272. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.063

Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding.*Analytical Biochemistry*, 72, 248–254.https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527 -3

Chen, X., Ren, L., Li, M., Qian, J., Fan, J., y Du, B. (2017). Effects of clove essential oil and eugenol on quality and browning control of fresh-cut lettuce. *Food Chemistry*, 214, 432–439.https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.101

Concellón, A., Añón, M. C., y Chaves, A. R. (2004). Characterization and changes in polyphenol oxidase from eggplant fruit (Solanummelongena L.) during storage at low temperature. *Food Chemistry*, 88, 17–24.https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.01.017

Cote, S., Rodoni, L. R., Miceli, E., Concellón, A., Civello, P. M., y Vicente, A. R. (2013).Effect of radiation intensity on the outcome of postharvest UV-C treatments.*Postharvest Biology and Technology,* 83, 83-89. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.03.009

Darré, M., Vicente, A. R., Cisneros-Zevallos, L., &Artéz-Hernández, F. (2022). Postharvest ultraviolet radiation in fruit and vegetables: Applications and factors modulating its efficacy on bioactive compounds and microbial growth. *Food*, 11, 653.https://doi.org/10.3390/foods11050653

García-Salas, P., Gómez-Caravaca, A. M., Morales-Soto, A., Segura-Carretero, A., y Fernández-Gutiérrez, A. (2014). Identification and quantification of phenolic compounds in diverse cultivars of eggplant grown in different seasons by high-performance liquid chromatography coupled to diode array detector and electrospray-quadrupole-time of flight-mass spectrometry. *FoodResearch International*, 57, 114-122.https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.01.032

González-Aguilar,G. A., Villegas-Ochoa,M. A., Martínez-Téllez,M. A.,Gardea, A. A., y Ayala-Zavala,J. F. (2007). Improving antioxidant capacity of fresh-cut mangoes treated with UV-C. *Journal of Food Science*, 72, 197–202.https://doi.org/10.1111/j.1750-41.2007.00295.x

Ghidelli, C., Mateos, M., Rojas-Argudo, C., y Pérez-Gago, M. B. (2013).Effect of antioxidants on enzymatic browning of eggplants extract and fresh-cut tissue.*Journal of Food Processing and Preservation*, 38(4): 1501-1510.https://doi.org/10.1111/jfpp.12109

Gutiérrez, D. R., Char, C., Escalona, V. H., Chaves, A. R., y Rodríguez, S. D. C.(2015). Application of UV-C radiation in the conservation of minimally processed rocket (Eruca sativa mill.).*Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 3117–3127.https://doi.org/10.1111/jfpp.12577

Gutiérrez, D. R., Chaves, A. R., & Rodríguez, S. D. C. (2016). Use of UV-C and gaseous ozone as sanitizing agents for keeping the quality of fresh-cut rocket (Eruca sativa mill.).*Journal of Food Processing and Preservation,* 41, e12968.https://doi.org/10.1111/jfpp.12968

Gutiérrez, D. R., Lemos, L., y Rodríguez, S. del C. (2017). Influence of Hot Air and Modified Atmosphere Packaging on Chilling Injury Incidence and Metabolism of Soluble Sugars in Eggplant Fruit (Solanummelongena L.). *International Journal of New Technology and Research*, 3(11), 01-06.

Gutiérrez, D.R., Chaves, A.R., Rodríguez, S.D.C. (2018). UV-C and ozone treatment influences on the antioxidant capacity and antioxidant system of minimally processed rocket (Eruca sativa Mill.). *Postharvest Biology and Technology*, 138, 107-113. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.12.014

Erkan, M., Wang.S., y Wang, C. (2008).Effect of UV treatment on antioxidant capacity antioxidant enzyme activity and decay in strawberry fruit.*Postharvest Biology and Technology,* 48, 163-171. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.09.028

Huang, H., Ge, Z., Limwachiranon, J., Li, L., Li, W., y Luo, Z. (2017). UV-C treatment affects browning and starch metabolism of minimally processed lily bulb. *Postharvest Biology and Technology,* 128, 105–111.https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.02.010

Huque, R., Wills, R., Pristijono, P., y Golding, J. (2013). Effect of oxide and (NO) and associated control treatments on the metabolism of fresh-cut apple slices in relation to development of surface browning. *Postharvest Biology and Technology,* 78: 16-23.https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.12.006

Hussain, P.R., Omeera, A., Suradkar, P.P., Dar, M.A. (2014). Effect of combination treatment of gamma irradiation and ascorbic acid on physicochemical and microbial quality of minimally processed eggplant (Solanummelongena L.).*Radiation Physics and Chemistry*, 103, 131–141. https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2014.05.063

Kampfenkel, K., Montagu, M. V., yInzé, D. (1995). Extraction and determination of ascorbate and dehydroascorbate from plant tissue.*Analytical Biochemistry*, 22(1), 165–167.https://doi.org/10.1006/abio.1995.1127

Li, H., Deng, Z., Zhu, H., Hu, C., Liu, R., Young, J. C., y Tsao, R. (2012). Highly pigmented vegetables: anthocyanin compositions and their role in antioxidant activities.*Food Research International,* 46, 250–259. https://doi.org/10.1016/j.foodr es.2011.12.014

Li, S. T., Lasekan, O., Adzahan, N. M., &Hashim, N. (2016). The effect of combinations of UV-C exposure with ascorbate and calcium chloride dips on the enzymatic activities and total phenolic content of minimally processed yam slices. *Postharvest Biology and Technology*, 120, 138–144.https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.06.008

Li, M., Li, X., Han, C., Ji, N., Jin, P., y Zheng, Y. (2019). UV-C treatment maintains quality and enhances antioxidant capacity of fresh-cut strawberries. *Postharvest Biology and Technology*, 156, 110945.https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.110945

Lu, Y., Zhang, J., Wang, X., Lin, Q., Liu, W., Xie, X., y Guan, W. (2016). Effects of UV-C irradiation on the physiological and antioxidant responses of button mushrooms (Agaricusbisporus) during storage.*International Journal of Food Science & Technology*, 51(6), 1502–1508.https://doi.org/10.1111/ijfs.13100

Manzocco, L., Da Pieve, S., Bertolini, A., Bartolomeoli, I., Maifreni, M.,Vianello, A., yNicoli, M. C. (2011). Surface decontamination of fresh-cut apple by UV-C light exposure: Effects on structure, color and sensory properties. *Postharvest Biology and Technology*, 61, 165–171. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.03.003

Manzocco, L., Quarta, B., y Dri, A. (2009). Polyphenoloxidase inactivation by light exposure in model systems and apple derivatives.*Innovative Food Science y Emerging Technologies*, 10, 506–511.https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.02.004

Mudau, A. R.,Soundy, P. S., Araya, H. T., y Mudau, N. M. (2018). Influence of modified atmosphere packaging on postharvest quality of baby spinach (Spinaciaoleracea L.) leaves. *HortScience,* 53(2), 224–230.https://doi.org/10.21273/HORTSCI12589-17

Park, M. H., y Kim, J. G. (2015). Low-dose UV-C irradiation reduces the microbial population and preserves antioxidant levels in peeled garlic (Allium sativum L.) during storage. *Postharvest Biology and Technology,* 100, 109–112.

https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.09.013

Perkins-Veazie, P., Collins, J. K., y Howard, L. (2008).Blueberry fruit response to postharvest application of ultraviolet radiation.*Postharvest Biology and Technology,* 47: 280-285. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.08.002

Shen, Y., Sun, Y., Qiao, L., Chen, J., Liu, D., & Ye, X. (2013).Effect of UV-C treatments on phenolic compounds and antioxidant capacity of minimally processed Satsuma mandarin during refrigerated storage.*Postharvest Biology and Technology*, 76, 50–57. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.09.006

Sikora, M., yŚwieca, M. (2018).Effect of ascorbic acid postharvest treatment on enzymatic browning, phenolics and antioxidant capacity of stored mung bean sprouts.*Food Chemistry*, 239, 1160–1166.https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.067

Singleton, V. L., Orthofer, R., yLamuela-Raventós, R. M. (1999).Analysis of total phenols oxidation substrates and antioxidants by means of Folin–Ciocalteau reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152–153.https://doi.org/10.1016/S0076 -6879(99)99017 -1

Teoh, L. S., Lasekan, O., Adzahan, N. M., y Hashim, N. (2016). The effect of combinations of UV-C exposure with ascorbate and calcium chloride dips on the enzymatic activities and total phenolic content of minimally processed yam slices. *Postharvest Biology and Technology*, 120: 138–144. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.06.008

Torales, A.C., Gutiérrez, D.R., Rodríguez, S.D.C. (2020). Influence of passive and active modified atmosphere packaging on yellowing and chlorophyll degrading enzymes activity in fresh-cut rocket leaves. *Food Packaging and Shelf Life*, 26, 100569.https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100569

Evaluación de la calidad de carne de novillos terminados con bagazo de limón húmedo en reemplazo del grano de maíz

López, Lurdes A.[1];López, Agustín[2]; Nasca, José A.[3]; Hernandez, Olegario[2]; Ruiz, Silvana[2]; Zimerman María[3]; Martínez, Sandra L.[1],

(1) Facultad de Agronomía y Agroindustrias – UNSE
lurdeslopez.agro@gmail.com, sandraluz08@gmail.com
(2) Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), EEA - Santiago del Estero, Argentina
lopez.agustin@inta.gob.ar, hernandez.olegario@inta.gob.a, ruiz.silvana@inta.gob.ar
(3) Instituto de Investigación Animal del Chaco Semiárido (IIACS), Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Tucumán, Argentina.
nasca.jose@inta.gob.ar, zimerman.maria@inta.gob.ar

RESUMEN

El presente trabajo pretende generar información sobre la calidad de la carne de novillos alimentados con una dieta en la que el grano de maíz (GM) fue sustituido en diferentes proporciones por bagazo de limón húmedo (BHL). Se seleccionaron 20 novillos Brafordde acuerdo a su homogeneidad de Peso Vivo (PV) y Condición Corporal (CC): 300 kg y 4 respectivamente. Los mismos fueron sometidos a un ensayo de alimentación en engorde a corral, con un Diseño Experimental Completamente Aleatorizado (DCA) compuesto por cuatro (4) tratamientos generados a partir de las proporciones crecientes de reemplazo del GM por BLH (100:0, 75:25, 50:50 y 25:75). Se registró: Peso Vivo (PV), Peso de Canal Caliente (PCC), Rendimiento (Rto), pH de carne sobre el músculo LD (a los 45 minutos y 24 hspostmortem), , Color instrumental, Capacidad de Retención de Agua (CRA), Área de ojo de bife (AOB), Pérdidas por descongelación (PPD), Pérdidas por Cocción (PPC), y Perfil de Textura (TPA). Los resultados indicaron diferencias significativasen el parámetro a* de Color. Esto demuestra que la sustitución de GM por BHL en dietas de terminación sería una buena alternativa, ya que no afectó los parámetros evaluados, excepto el mencionado.

Palabras claves: Engorde a corral - Calidad de Canal - Alimentación Animal - Sub productos de la industria citrícola.

ABSTRACT

The present work intends to generate information on the quality of the meat of steers fed with a diet in which the corn grain (GM) was replaced in different proportions by wet lemon bagasse (LMB). Twenty Braford steers were selected according to their homogeneity in terms of Live Weight (LW) and Body Condition (CC): 300 kg and 4 respectively. They were subjected to a feedlot trial, with a Completely Randomized Experimental Design (DCA) composed of four (4) treatments generated from the increasing proportions of GM replacement by BLH (100:0, 75: 25, 50:50 and 25:75). Produced: Live Weight (LW), Hot Carcass Weight (PCC), Yield (Rto), meatpH on LD muscle (at 45 minutes and 24 hours postmortem), , Instrument Color, Retention Capacity of Water (CRA), Area of rib eye (AOB), Losses due to thawing (PPD), Losses due to cooking (PPC), and Texture Profile (TPA). The results indicated significant differences in the a* parameter of Color. This shows that the substitution of GM for BHL in finishing diets would be a good alternative, since it did not affect the evaluated parameters, except what was mentioned.

Keywords: Feedlot - Carcass Quality - Animal Feed - By-products of the citrus industry.

1. INTRODUCCION

La citricultura es una actividad sumamente importante para el NOA en particular, para la provincia de Tucumán, ya que es el principal productor mundial de limones. En los últimos 10 años la producción nacional de limones fue de 1,4 millones de toneladas, concentrándose cerca del 80 % de esta producción en la provincia de Tucumán. Aproximadamente el 75 % de este volumen se industrializa para ser comercializado como jugo o para la elaboración de aceites esenciales, mientras que un 17 % se exporta como fruta fresca y un 8 % se destina al consumo interno(MAGyP, 2019).
Según Albarracín (2011), como subproducto del proceso de obtención de jugos cítricos quedan la corteza, membranas, parte de la pulpa y eventualmente las semillas del fruto. El destino de estos residuos muchas veces constituye un problema para las empresas citrícolas: algunas los disponen en terrenos de sacrificio y otras los vuelcan junto con efluentes líquidos a las cuencas hídricas. En ambos casos éstos generan olores desagradables, proliferación de moscas y otros insectos, con un aumento en la carga contaminante de los ríos provinciales y en los niveles freáticos, en el caso de disposición en tierras de sacrificio en los alrededores de las plantas de procesamiento.

Por esta razón, los subproductos de estas agroindustrias, resultan ser un inconveniente, principalmente desde el punto de vista ambiental, donde la contaminación de los recursos suelo, aire y agua urge ser atendida. Por lo tanto, se los puede aprovechar (fruta fresca, bagazo, ensilado o pellet de pulpa), para la alimentación animal, constituyéndose así, una oportunidad para las empresas citrícolas.

Según Mayer (2021), las principales características nutricionales del bagazo de citrus son: bajo porcentaje de materia seca (14% al 25%), moderada a alta concentración energética (2,6 a 3,4 Mcal EM/kg de MS), bajo nivel proteico (7% al 10%), elevado contenido en calcio (0,54%) y vitaminas. Esto demuestra que el mismo podría constituir un ingrediente estratégicopara la alimentación animal.

El uso de Bagazo de Limón en dietas de bovinos ha sido estudiado por algunos autores, entre ellos, Lopez *et al.*, (2020) que recientemente lo han utilizado para la suplementación en recría de bovinos con altos y moderados porcentajes de sustitución del grano de maíz por este ingrediente y obtuvieron interesantes resultados productivos, reflejándose en buenas ganancias de peso y eficiencia de conversión alimenticia. Según lo precedentemente expuesto, los recursos alimenticios provenientes de residuos industriales de las citrícolas se tornan estratégicos para los sistemas ganaderos de la región, debido al incremento en los costos de los insumos alimenticios tradicionales, como los granos, lo que ha promovido la búsqueda de alternativas alimenticias de menor costo y de buen valor nutritivo (Lopez *et al.*, 2020). Sin embargo, no se halló bibliografía científica en bovinos que detalle sobre sus efectos sobre la calidad de la carne obtenida.

El presente trabajo pretende generar información sobre la calidad de la carne de novillos que fueron alimentados con una dieta en la que el grano de maíz (GM) fue sustituido en diferentes proporciones por bagazo de limón húmedo (BHL).

2. MATERIALES Y METODOS

2.1 Localización del ensayo, animales, diseño experimental y tratamientos

Los animales de este ensayo fueron proporcionados por la Asociación Cooperadora INTA Leales y el ensayo nutricional al que fueron sometidos se realizó en las instalaciones del Instituto de Investigación Animal del Chaco Semiárido (IIACS-INTA Leales), el cual se encuentra ubicado en el departamento Leales, Tucumán (27º11´10.60´´S y 65º14´32.45´´O) a una altitud de 335 msnm. Las muestras de carne evaluadas procedieron del ensayo precedentemente mencionado.
Se seleccionaron 20 de un total de 120 novillos Braford, de acuerdo a su homogeneidad en cuanto al Peso Vivo (PV) y Condición Corporal (CC): cercanos a 300 kg y 4 respectivamente. Los mismos fueron sometidos a un ensayo de

alimentación en engorde a corral. Se trabajó con un Diseño Experimental Completamente Aleatorizado (DCA) compuesto por cuatro (4) tratamientos generados a partir de las proporciones crecientes de reemplazo del grano de maíz (GM) por BLH (100:0, 75:25, 50:50 y 25:75). La composición de las dietas ensayadas se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición de las raciones para cada tratamiento

Dietas (%GM: %BLH)				
Ingredientes (%)	100:0	75:25	50:50	25:75
Silaje de maíz	25	25	25	25
GM	65	48,8	32,6	16,3
BLH	0	16,3	32,6	48,8
Expeller de girasol	8,6	8,6	8,6	8,6
Urea	0,4	0,3	0,2	0,1
Nucleo	1	1	1	1

Los animales se dividieron al azar y se asignaron a 20 corrales individuales, de modo tal que cada tratamiento de alimentación poseía cinco repeticiones (5 corrales por tratamiento). Los corrales, de 70 m^2, estaban provistos de comedero y bebedero, para que los animales tengan libre acceso al agua de bebida en forma permanente. Las diferentes raciones fueron asignadas al azar a cada corral, con una oferta de alimento 30% superior a la capacidad de consumo de los animales, considerada como un 3% respecto del PV. La dieta fue suministrada 2 veces por día (8 y 14 h) *ad libitum*. Los animales tuvieron un periodo de adaptación a la dieta de 15 días, y 90 días de evaluación.

2.2 *Faena y registro de información en matadero-frigorífico. Toma de muestras de carne*

Finalizado el periodo de engorde a corral, los animales fueron enviados a faena. El transporte se realizó en forma conjunta y se sacrificaron en el mismo turno de faena en un matadero-frigorífico clase B (habilitado para tránsito provincial). El cual se encuentra ubicado a 38 km del IIACS. El proceso de faena fue inspeccionado para resguardar la trazabilidad individual.
A las 24 h post-faena se extrajo, de la media canal izquierda, un bloque conformado por la 12° y 13ª vértebra toráxica. Las muestras fueron rotuladas, refrigeradas y trasladadas hasta el Laboratorio de Calidad de Carnes del IIACS. Allí fueron envasadas al vacío con envasadora Erhlich Múltiple 315, y posteriormente congeladas (a -20°C) hasta su procesamiento y análisis.

2.3 Parámetros evaluados a campo

Peso vivo:
Previo a la carga de los animales para ser trasportados al frigorífico, se realizó el pesaje de forma individual mediante balanza electrónica con el objeto de determinar el peso final antes de la faena. Los animales tuvieron un tiempo de desbaste de aproximadamente 24h.

2.4 *Parámetros evaluados en frigorífico*

Luego de finalizada la faena se registró la siguiente información:
Peso de canal caliente (PCC):
Se registró el peso de la canal inmediatamente después de la faena.
Rendimiento (Rto): Este parámetro se calculó a través de la siguiente formula:

$$Rto = \frac{PCC}{PV} \times 100$$

Donde;
PCC: Peso de la canal caliente
PV: peso vivo

pH de la carne (a los 45 minutos y 24 h *postmortem*):
Las medidas del pH en la canal se realizaron en el espacio intercostal ubicado entre la 10 y 11° costilla, con pHmetro de penetración Hanna 99163 previamente calibrado, siguiendo la metodología propuesta por Garrido *et al.* (2005). Se realizaron 3 (tres) mediciones, registrándose el valor promedio de dichas mediciones.
Para llevar a cabo esta medición, se introdujo el electrodo en forma perpendicular al músculo evitandoel contacto de la sonda con la grasa o el tejido conectivo. Una vez estable la lectura, se registró el valor.

2.5 Parámetros evaluados en laboratorio

Las determinaciones para analizar parámetros de calidad física en las muestras de carne se realizaron en los laboratorios del Instituto de Ciencias y Tecnología de los Alimentos (ICYTA), sede Zanjón, Facultad de Agronomía y Agroindustria (FAYA) perteneciente a la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE).
Las muestras congeladas a -20°C se trasladaron a los laboratorios antes mencionados. Se

descongelaron a 4°C durante 24 h para su procesamiento.
-Se determinaron los siguientes parámetros:
pH en el filete: Se registraron los valores de pH con pHmetro de penetración Hanna 99163 previamente calibrado, siguiendo la metodología propuesta por Garrido *et al.* (2005). Las determinaciones se realizaron sobre el musculo *LD*, en 3 puntos distintos de la muestra evitando regiones de nervios y grasa como se visualiza en la Figura 1. El electrodo se inserta con un ángulo de 45° respecto de la superficie de la muestra. Se registró el valor promedio de las mediciones realizadas.

Figura 1. Puntos de medición de pH

Color instrumental de la carne:
Se midió mediante colorímetro portátil de la marca Minolta (Modelo CR-300). Las condiciones experimentales fueron iluminante C y apertura en la zona de medición de 8 mm utilizando el sistema CIELab. El equipo se calibró utilizando el plato de calibración de Minolta. Las coordenadas registradas fueron L*, a* y b*, siguiendo la metodología propuesta por Albertí et al (2005). Se realizaron dos lecturas en distintos puntos de la muestra luego del corte y de 30 minutos de oxigenación (*Blooming time*) a 4°C +/- 1°C, evitando regiones con venas o grasa y registrándose el promedio de las mismas.

Capacidad de retención de agua (% CRA):
Se determinó a través del método de jugo exprimible de carne cruda sobre el músculo *LD*, siguiendo la metodología propuesta por Pla Torres (2005). Para ello se utilizaron, a modo de prensa, 2 planchas de acrílico de 9 x 12 cm, 2 tornillos palometa, y papel de filtro estándar.
Se procedió de la siguiente manera:

a) Se tomó una muestra de 0,3 +/- 0,05 g de carne procedente de *LD* a la altura de la 12° costilla, libre de grasa y tejido conectivo.
b) Se colocó la muestra sobre el papel de filtro entre las dos placas y se ejerció presión sin forzar el sistema de tornillo, dejando actuar por 2,5 minutos.
c) Los jugos liberados por efecto de la presión, definieron sobre el papel de filtro dos áreas:

- Una central (M), que corresponde a la carne;
- Y un anillo (T), perteneciente a la superficie ocupada por el jugo fuera de la carne, y cuya magnitud es inversamente proporcional a la capacidad de retención de agua de la carne.

Para la determinación del área se colocó una referencia y se procedió a fotografiar tal como se puede observar en la Figura 2. Las imágenes se procesaron por medio del software AUTOCAD como lo muestra la Figura 3. Cada medición se realizó por duplicado, registrándose el valor promedio. La CRA se expresa en porcentaje, como el cociente entre las superficies M y T.

Figura 2. Método del jugo exprimible

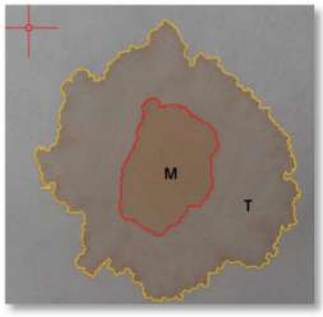


Figura 3. Determinación de áreas por AUTOCAD

Area de Ojo de Bife (AOB):
El AOB se determinó por calcografía del área ocupada por el bife extraído a nivel de la 13ª vértebra torácica, utilizando acetato. Se tomó una fotografía del mismo, utilizando en la misma una

referencia de tamaño y luego se calculó la superficie mediante el software AUTOCAD (Figura 4). Los resultados se expresaron en cm^2.

Figura 4. Determinación de área por AUTODAD

Perdidas por descongelación (PPD):
Antes de realizar el descongelado de las muestras para su posterior análisis, se registró el peso de las mimas congeladas y envasadas al vacío (Pi). Luego se descongelaron a 4°C durante 24 h y se registró el peso de las mismas (Pf). Por diferencia de pesos se calculó las pérdidas por descongelación (Pi-Pf)

Perdidas por cocción (PPC):
Se procedió de la siguiente forma:

a) Las muestras refrigeradas se atemperaron, a temperatura ambiente, durante 15 minutos antes de realizar la cocción. Para cocinar las muestras, se las envolvió en papel de aluminio.
b) Se calentó el Grill Prensa marca Speedy G3 doble contacto antes de colocar las muestras, y luego se cocinaron hasta alcanzar 70°C en el centro térmico de la carne. Se verificó la temperatura mediante termocupla.
c) Una vez cocinadas las muestras se enfriaron a temperatura ambiente durante 30 minutos, y se registró el peso de las mismas. Las pérdidas por cocción se calcularon a través de la diferencia de peso entre las muestras antes y después de la cocción.

Perfil de textura:
Se analizócon Texturómetro TA.XT2 con sonda cilindrica de ebonita 40 mm de diámetro, con software ExponentStable Micro System.
Análisis TPA:

a) Las muestras cocidas se mantuvieron refrigeradas, a 4°C dentro de bolsas para evitar su desecación. Se calibró el equipo según las instrucciones del mismo.
b) De cada muestra cocinada se extrajeron entre 10 y 12 tarugos, utilizando un sacabocados de acero inoxidable de 1 cm de diámetro, realizando el corte sobre el bife de 2,5 cm de alto, en forma perpendicular a las fibras musculares como se visualiza en la Figura 5.

Figura 5. Tarugos obtenidos con sacabocados

c) Los tarugos se colocaron debajo de la sonda cilíndrica, como se visualiza en la Figura 6. Los valores de los parámetros consignados surgieron de promediar los resultados obtenidos de las mediciones.

Figura 6. TexturómetroTA.XT Plus

2.6 Diseño experimental

Se trabajó con un diseño completamente aleatorizado (DCA) donde cada animal, se

consideró una unidad experimental. La comparación de medias de todas las variables analizadas se realizó a través de un análisis de la varianza (ANOVA) utilizando la prueba de Tukey como test a posteriori, considerando diferencia significativa a valores de p <0,05. Para el análisis de datos se trabajó con el software estadístico InfoStat versión 2020 (Di Rienzo*et al.,* 2020).

3. RESULTADOSY DISCUSION

3.1 Determinación Peso Vivo (PV), Peso de la Canal Caliente (PCC) y Rendimiento de faena (Rto)

En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos:promedio, error estándar de la media (EEM) y p-valor del ANOVAde la determinación de los parámetros de PV, PCC, y Rto resultantes de las diferentes dietas tratamiento

Tabla 2. Determinación de los parámetros de PV, PCC, y Rto

Dietas (%)	PV	PCC	Rto
100:00	440,2	242,6	55,09
75:25	461,5	262,75	56,91
50:50	445,2	250,8	56,33
25:75	441,6	250,4	56,7
EEM	7,2	5	0,53
p-valor	0,22	0,09	0,11

El PV, PCC, RTO, no presentaron diferencia significativa debidas a las dietas tratamientos.

3.2 Determinación del pH

En la Tabla 3se presentan los resultados obtenidos: promedio, error estándar de la media (EEM) y p-valor del ANOVA) para los pH obtenidos en diferentes momentos.

Tabla3. Determinación del pH de la carne en diferentes momentos

Dietas (%)	pH 45 min	pH 24h	pH Lab
100:00	6,43	5,88	5,47
75:25	6,49	5,8	5,5
50:50	6,65	5,85	5,54
25:75	6,39	5,81	5,55
EEM	0,09	0,08	0,03
p-valor	0,24	0,92	0,13

El análisis de los resultados que se presentan en la Tabla 3 evidencia que no existieron diferencias significativas en los valores de pH a 45min, pH a 24 h y pHLab por las dietas tratamientos.

3.3 Determinación de Color

La Tabla 4 muestra los resultados obtenidos: promedio, error estándar de la media (EEM) y p-valor del ANOVA para los parámetros que definen el color: L*, a* y b*, en función de las dietas tratamiento.

Tabla 4. Determinación de color

Dietas (%)	L*	a*	b*
100:00	37,77	18,57 ab	4,01
75:25	36,86	16,96 a	3,44
50:50	35,8	19,52 b	2,1
25:75	36,28	17,25 ab	3,36
EEM	1,06	0,62	0,53
p-valor	0,58	0,04	0,1

Como se observa, solo se encontró efecto significativo de la dieta tratamiento sobre la variable a*, (que corresponde al índice de saturación con rojo). En tanto, no se observó diferencias significativas en los parámetros L* y b*. La dieta con 25% de remplazo con BHL presentó menor valor de a* que la dieta con un remplazo del 50% con BHL. Es decir que esta última presentó mayor saturación con rojo en comparación de la dieta con 25% de remplazo con BHL.Al igual que en el presente trabajo, ensayos realizados por Dunne et al., (2006)encontraron modificaciones del color del músculo LD en hembras sometidas adiferentes sistemas de alimentación.

3.4 Determinación de CRA y AOB

Los valores obtenidos para los parámetros de CRA y AOB promedio, error estándar de la media (EEM) y p-valor del ANOVA se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Determinación de CRA y AOB

Dietas (%)	CRA	AOB
100:00	25,84	65,64
75:25	25,25	71,09
50:50	24,48	59,29
25:75	23,63	60,49
EEM	2,48	11,3
p-valor	0,95	0,21

La CRA y el AOB no presentaron diferencia significativa atribuible a las dietas tratamientos, con un p-valor de 0,95 y 0,21 respectivamente.

3.5 Determinación de PPD y PPC

Los valores obtenidos de perdidas por descongelación y perdidas por cocciónpromedio, error estándar de la media (EEM) y p-valor del ANOVA) se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Determinación PPD y PPC

Dietas (%)	PPD	PPC
100:00	2,27	33,91
75:25	2,6	33,56
50:50	3,74	33,91
25:75	0,78	34,1
EM	0,85	1,06
p-valor	0,13	0,99

Las perdidas por descongelamiento y por cocción no difirieron significativamente en relación a las dietas tratamiento (p=0,133 y p=0,9885 respectivamente).

3.6 Determinación TPA

En la Tabla 7 se presentan los valores promedio, error estándar de la media (EEM) y p-valor del ANOVA de los parámetros obtenidos del análisis de textura.

Tabla 7. Determinación TPA

	D	E	G	M
100:00	43,63	0,45	1912,5	364,51
75:25	42,55	0,43	1861	801,81
50:50	41,24	0,43	1759,7	755,78
25:75	39,23	0,42	1576,5	682,19
EM	2,955	0,01	136,595	61,83
p-valor	0,73	0,13	0,34	0,23

Las variables asociadas a la texturade la carne (Dureza (D), Elasticidad (E), Gomosidad (G), Masticabilidad (M)) no presentaron diferencias significativas debidas a las dietas tratamiento, con un p-valor de 0,73; 0,13; 0,34; y 0,23 respectivamente.

4. CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos en este trabajo demuestran que la sustitución de GM por BHL en dietas de terminación de bovinos sería una buena alternativa, ya que los costos de los insumos alimenticios tradicionales (granos) se ven incrementados y no se produjo variaciones en aspectos productivos, ni afectó la calidad de la carne obtenida, excepto en el parámetro a* del color.

5. BIBLIOGRAFÍA

Albarracin, P., Prieto, D., Barnes, N. G., Paz, D., & Genta, H. (2011). Elaboración de dietas utilizando cascaras de limón en alimentos para ganado bovino. *Sitio Argentino de Producción Animal*, *6*, 23–28. www.produccion-animal.com.ar

Dunne, P. G., O'Mara, F. P., Monahan, F. J., &Moloney, A. P. (2006). Changes incolourcharacteristics and pigmentationofsubcutaneous adipose tissue andM. longissimusdorsiofheifersfedgrass, grasssilageorconcentrate-baseddiets. *MeatScience,74(2),231–241.* https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2006.02.003

Lopez, A., Nasza, J. a., Hernández, O., Fissolo, H., Zimerman, M., Bottegal, D., Molina, A., Royo, V., Franck, C., & Arroquy, J. I. (2020). Sustitución del grano de maíz por bagazo de limón deshidratado en dietas de recría de vaquillonas. *Revista Agronómica Del Noroeste Argentino*, *40*(2), 123–128.

MAGyP. (2019). Cadena del limón. *Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.*

Mayer, A. F. (2021). *Utilización del bagazo de citricos en la alimentación de rodeos bovinos de carne y leche*. *3*, 14–24.

Harina integral extruida de maíz andino (*Zea mays*)raza *Chulpi*: Aplicación en panadería sin gluten.

Miranda, Rita M.[1]; Ríos, Francisco T.[1];Calliope, Sonia R.; Lobo, Manuel O.[1] ySammán, Norma C.[1]

(1) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.
ritamarisolmiranda@yahoo.com.ar

RESUMEN

El maíz andino (*Zea mays*)puede ser consumido por los celiacos de forma segura. Además, tiene potencial para ser transformado en alimentos de mayor valor agregado si se aplican condiciones de extrusión adecuadas.El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de las condiciones de extrusiónsobre propiedades fisicoquímicas deharina integral de maíz andinoraza *Chulpi*, las propiedades texturalesy la calidad tecnológica de los panes formulados por adición de harinas extruidas. Se determinó que el porcentaje de lípidos libres (%LL) y el índice de absorción de agua (IAA)tienen un impacto significativo sobre las propiedades texturales y tecnológicas de los panes adicionados con harina extruida frente al control. Sin embargo, las condiciones de extrusión empleadas en este trabajo contribuyeron de manera insuficiente a la mejora de la calidad del pan formulado.

ABSTRACT

Andean maize (*Zea mays*) can be safely consumed by celiacs. It also has the potential to be transformed into foods with higher added value if proper extrusion conditions are applied. The aim of this work was to evaluate the effect of the extrusion conditions on the physicochemical properties of whole-grain flour from Andean maize *Chulpi*race, the textural properties and the technological quality of the breads formulated by adding extruded flours. It was determined that the percentage of free lipids (% LL) and the water absorption index (IAA) have a significant impact on the textural and technological properties of the breads added with extruded flour compared to the control. However, the extrusion conditions used in this work contributed insufficiently to improving the quality of the formulated bread.

Palabras claves: Maíz Andino –Pan - Sin Gluten - Extrusión.

Keywords: Andean maize- Bread- Gluten Free- Extrusion.

1. INTRODUCCIÓN

El maíz andino(*Zea mays*) es un cereal que se produce en distintas regiones andinas de América Latina. Las distintas razas de maíces andinos tienen propiedades fisicoquímicas y funcionales que permiten producir diversos platos regionales y tienen potencial para producir otros alimentos de mayor valor agregado, como los productos sin gluten(Salvador-Reyes, 2020).

El pan es un alimento de consumo masivo. Tradicionalmentese elabora con harina de trigo que contiene gluten, el cual es responsable de la viscoelastididad de sus masas y de la estructura aireada del producto horneado. Los panes sin gluten suelen tener características texturales y sensoriales deficientes, debido a que carecen de una estructura estabilizante(Sciarini, 2016).

La aplicación de la tecnología extrusión-cocción en harinas sin gluten ha demostrado ser una herramienta eficaz para modificar las propiedades tecno-funcionales (Giménez, 2015; Gómez, 2016; Miranda, 2022). La selección adecuada de los parámetros de extrusión puede favorecer la estabilización estructural de materias primas sin gluten para emplearlas en el proceso de elaboración de productos panificados sin gluten.Así por ejemplo Comettant-Rabanal et al. (2020) han aplicado esta tecnología en harinas integrales sorgo, arroz, maíz y mijo, obteniendo mejoras en las propiedades reológicas de las masas y aumento en el volumen de los panes formulados.De manera similar Pasqualone et al.(2022) extrusaron lenteja para preparar pizza sin gluten y comprobaron que fue posible reemplazar los hidrocoloides en elaboración de esos productos, obteniendo buena aceptabilidad sensorial.

Las condiciones de extrusión de alto cizallamiento suelen producir cambios principalmente en las propiedades de hidratación de las harinas tratadas respecto de las muestras nativas y formación de carbohidratos pequeños derivados de la descomposición de algunos polímeros de almidón (Chen, 2018). Además, puede producirse el complejamiento de carbohidratos como la amilosa con lípidos y proteínas, lo que puede afectar la formación de una estructura estable en sistemas de masas sin gluten (Bravo-Núñez, 2019). La magnitud de estos cambios estaría relacionada principalmente con las condiciones de extrusión ylas características composicionales de las materias primas.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la extrusión sobre las propiedades fisicoquímicas de las harinas integrales de maíz andino raza *Chulpi*, y determinar su relación con los cambios en las propiedades texturales de masas y panes adicionadas con las harinas extruidas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

Se utilizó maíz andino raza *chulpi* procedente de la localidad de Ocumazo-Humahuaca, provincia de Jujuy. Este maíz contenía Humedad9,56g/100 g de harina (AOAC 925.10), Proteínas 8,44 g/100 g de harina (AOAC 920.87), Lípidos 6,71g/100 g de harina (AOAC 920.39), Cenizas 1,76 g/100 g de harina(AOAC 923.03) y Carbohidratos 73,53 g/100 de harina(por diferencia).Amilosa 11,46 g/100 g de almidón.

2.2 Extrusión de las harinas integrales

Los granos se molieron en molino de martillos (Polymix System PX-MFC). Las harinas obtenidas se extrudieron en un extrusor Brabender (KE 19/25D) monotornillo con relación de compresión 3:1, boquilla de 3mm a las temperaturas 100, 120 y 140 °C, humedades 15, 20 y 25%, y velocidades de tornillo 80, 100 y 120rpm (Tabla 1). La selección de la combinación de factores se hizo a través de un diseño ortogonal incompleto aleatorizado, con fin de explorar las variables de extrusión.Los extruidos se secaron a 40 °C hasta humedad constante (8%), luego se molieron y almacenaron a temperatura ambiente en bolsas de polietileno hasta su procesamiento.

Tabla 1. Condiciones de extrusión

Muestra	Temp(°C)	Hum (%H)	Velocidad de tornillo (rpm)
Ch1	100	15	80
Ch2	100	20	100
Ch3	100	25	120
Ch4	120	15	100

Ch5	120	20	120
Ch6	120	25	80
Ch7	140	15	120
Ch8	140	20	80
Ch9	140	25	100

2.3 Caracterización de muestras extruidas

Se determinó elíndice de absorción de agua (IAA) y el índice de solubilidad en agua (ISA)por el método de Anderson et al. (1969). Se pesaron 2,5 g de cada muestra en tubos de centrifuga. Luego se adicionaron 30 mL de agua destilada y se colocaron en baño termostático a 30 ºC por 15 min con agitación, se enfriaron a temperatura ambiente y se centrifugaron a 3000 rpm por 10 min. Se registraron los pesos de los residuos o geles obtenidos en los tubos de centrífuga. Los sobrenadantes obtenidos se colocaron en cajas metálicas y se evaporaron a 110°C para determinar los sólidos solubles. Los IAA e ISA se calcularon según las ecuaciones:

$$\text{IAA (g/g)} = \frac{\text{Wr}}{\text{Wi}} \quad (1)$$

$$\text{ISA (\%)} = \frac{\text{Ws}}{\text{Wi}} * 100 \quad (2)$$

Dónde: wi es el peso de la harina; wr: peso del gel y ws: peso de sobrenadante seco.

Los carbohidratos solubles totales (CsT) de los sobrenadantes de la suspensión de harinas extruidas se midieron utilizando el método fenol-sulfúrico según Taylor (1995) con modificaciones en la preparación de muestras (Al Loman, 2017). Se estableció una curva de calibración utilizando soluciones de glucosa pura como estándares, procesadas por los mismos procedimientos. La medición se realizó por triplicado.

Se determinó el porcentaje de lípidos libres (%LL) en harinas extruidas mediante extracción con solvente por Soxhlet (Byars, 2015). Para el cálculo se utilizó la fórmula:

$$\% \text{ LL} = \frac{(\text{Pi} - \text{Pf})\text{ext}}{(\text{Pi} - \text{Pf})\text{nat}} \quad (3)$$

Donde %LL es el porcentaje de lípidos libres, (Pi-Pf)ext es la diferencia de peso de la muestra antes y después de la extracción con solvente, equivalente al peso de lípidos libres en la muestra de harina extrudida, (Pi-Pf)nat es la diferencia de peso de la muestra antes y después de la extracción con solvente en la harina nativa.

2.4 Preparación del pan

El pan lactal se elaboró con harina integral de maíz sustituida con 20% de harina extruida. Los ingredientes del pan lactal se detallan en la tabla 2.

Tabla 2. Ingredientes de la formulación del pan lactal

Ingredientes	Control	Con harina extruida
Harina Nativa	100 %	80 %
Harina Extrudida	-	20%
Azúcar	3 %	3 %
Manteca	10 %	10 %
Leche en polvo	3 %	3 %
Sal	1,5 %	1,5 %
Levadura seca	1,5 %	1,5 %
Agua	110 %	110 %
Goma xántica	0,5 %	0,5 %
Albumina de huevo	2 %	2 %

2.5 Propiedades texturales de la masa y el pan sin gluten

Se determinó el perfil de textura (TPA) de los panes formulados. Se utilizó un analizador de textura (TAXT plus, Stable Micro System, Reino Unido) equipado con una celda de carga de 5 kg. Se utilizó una sonda cilíndrica de aluminio con P/35 (35,0 mm); muestras del centro del pan (grosor de 10 mm) se comprimieron al 50% de su altura original. La velocidad de prueba fue de 1 mm/s y el tiempo de espera de 5,0 s. Las mediciones se realizaron por cuadruplicado.

Se determinaron las pérdidas por cocción (PPC) por diferencia de peso entre la masa antes y después de la cocción, expresado como porcentaje respecto de su peso inicial. También se determinó el volumen específico de los panes por desplazamiento de semillas de colza(Comettant-Rabanal, 2020).

2.6 Análisis de datos

Los datos obtenidos se analizaron con el programa estadístico INFOSTAT (versión 2017.1.2). Se llevó a cabo un análisis exploratorio

a través de matrices de diagramas de dispersión y se evaluaron las correlaciones de Pearson (r, p<0,05) entre las variables de respuesta.Los resultados fueron evaluados por análisis de varianza para un nivel designificancia (α) 0,05, seguido de la prueba post hoc con LSD Fisher.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las matrices dediagramas de dispersiónse utilizaron paraobservar la relación entre las variables relacionadas con la calidad del producto (volumen, pérdida de peso) y las variables relacionadas con los efectos de la extrusión sobre las harinas (Fig. 1-A); y para observar la relación entre las variables relacionadas con la calidad del producto y su relación con las propiedades texturales (Fig. 1-B).En las Fig. 1-A y 1-Bse observaronalgunas tendencias lineales entre los pares CsT-IAA, CsT-ISA, IAA-ISA, PPC-Vesp, Springiness-Cohesiveness, Springiness-Resilence, Cohesiveness-Resilence, PPC-Springiness, PPC-Cohesiveness y PPC-Resilence.

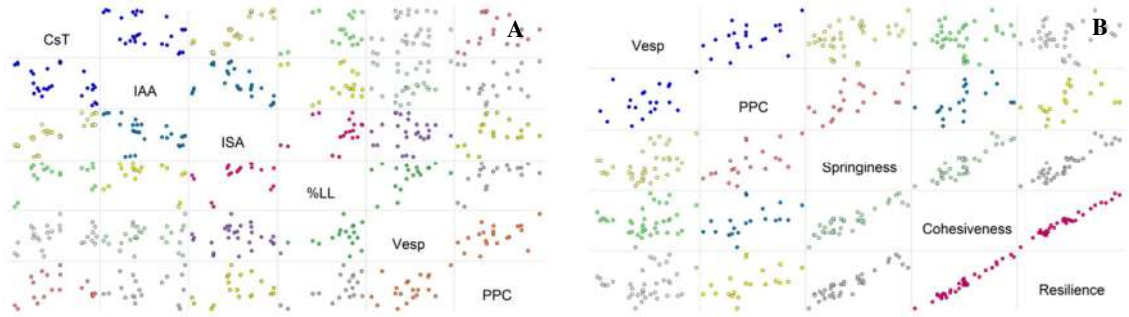


Figura 1: Matrices de diagramas de dispersión paralas variables; (A) carbohidratos solubles totales (CsT), índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA), porcentaje de lípidos libres (%LL) de harinas extruidas, pérdidas por cocción (PPC) y volumen específico de panes (Vesp); (B) pérdidas por cocción (PPC), volumen especifico de panes (Vesp), elasticidad (Springiness), cohesividad (Cohesiviness) y resiliencia (Resilience) de panes sustituidos con harina extruida.

A partir del análisis de los diagramas de dispersión se consideró necesario conocer las correlaciones de Pearson entre las variables. Las correlaciones de Pearson se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3. Correlaciones de Pearson

Variable 1	Variable 2	R	p-valor
CsT	IAA	-0,50	0,01
CsT	ISA	0,81	<0,0001
IAA	ISA	-0,47	0,01
IAA	Springiness	0,56	0,00
IAA	Cohesiveness	0,68	0,00
IAA	Resilience	0,66	0,00
%LL	PPC	0,60	0,01
PPC	Springiness	0,61	0,00
PPC	Cohesiveness	0,49	0,03
PPC	Resilience	0,48	0,03
Vesp	Springiness	0,41	0,01
Springiness	Cohesiveness	0,89	<0,0001
Springiness	Resilience	0,91	<0,0001
Cohesiveness	Resilience	0,98	<0,0001

Como puede observarse en la Tabla 3se encontraron asociaciones significativas entre algunas variables. Aunque las diferentes condiciones de extrusión hayan afectado de manera significativa los CsT y el ISA, y éstas a su vez tengan una alta correlación, no estaríanexplicando el aumento de volumen de los panes de maíz*Chulpi*. Pero los cambios en el IAA estarían afectando de manera positiva las propiedades texturales de los panes formulados.

La reducción de los %LL por efecto de la extrusión de las harinas estaría produciendo una disminución de las PPC de los panes. A su vez las PPC presentan una correlación positiva con la elasticidad, cohesividad y resiliencia del pan. El Vesp está asociado positivamente con la elasticidad, produciendo migas más aireadas,

aunque en este último caso la correlación es baja.Las propiedades texturales evaluadas en este trabajo poseen una alta correlación entre sí.

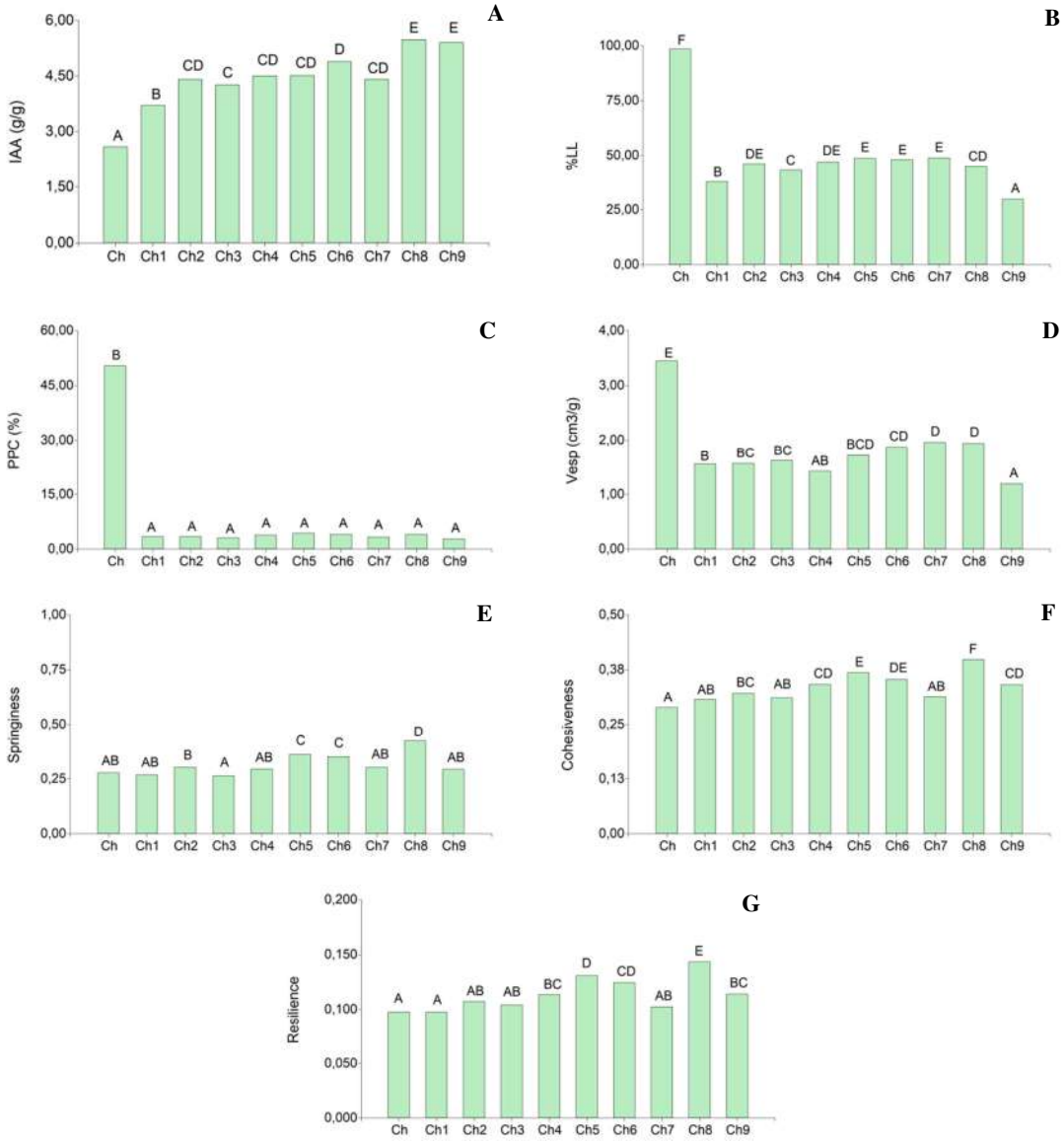


Figura 2.Gráficos de barras de las medias de (A) Índice de absorción de agua y (B) Porcentaje de lípidos libres en harinas extruidasde maíz raza *Chulpi*;(C) Pérdidas por cocción, (D) Volumen especifico, (E) Elasticidad, (F) Cohesividad y (G) Resiliencia en panes formulados con sustitución de harina nativa por harina extruida de maíz raza *Chulpi*. Condiciones de extrusión Ch1:100 °C-15%H-80 rpm; Ch2:100 °C-20%H-100 rpm; Ch3:100 °C-25%H-120 rpm; Ch4: 120 °C-15%H-100 rpm; Ch5:120 °C-20%H-120 rpm; Ch6:120 °C-25%H-80 rpm; Ch7:140 °C-15%H-120 rpm; Ch8:140 °C-20%H-80 rpm; Ch9:140 °C-25%H-100 rpm. Muestra Ch es el control.Letras diferentes indican diferencias significativas ($p<0,05$) entre tratamientos.

En la Fig. 2-A puede observarse que las muestras de harinas extruidas aumentaron el valor del IAA luego de la extrusión en relación al control, presentando los mayores valores en los

tratamientos de alta temperatura (Ch8 y Ch9).Murgüeytio (2020) encontró valores de IAA similares a los de este trabajo, en harinas de quínoa extruidas a bajas temperaturas (60 y 95 °C) y humedades (18 y25 %), con velocidad de tornillo constante (130 rpm), pero tratadas con ácido láctico (0, 0,2 y 1 %).Por su parte Patil et al. (2021), extrusaron harina de maíz obteniendo altos IAA porque usaron condiciones de alto cizallamiento (120 y 180 °C, 10 y 20 %H, 200 y 400 rpm).

La Fig. 2-B muestra que el %LL de la harina de maíz *Chulpi* disminuyó luego de la extrusión, presentando los mayores valores de %LL en Ch2, Ch4, Ch5, Ch6, Ch7 y Ch8. Esto podría deberse a la formación de complejos amilosa-lípido. Así lo señalan varios estudios como el de Torbica et al. (2021), quienes trabajaron sobre diversos materiales sin gluten extruidos y observaronque además del contenido de amilosa, el grado de complejamiento depende del tipo de ácido graso presente en la matriz.

En la Fig. 2-C se puede observar que la incorporación de harina extruida no tuvo efectos significativos en las PPC de los panes formulados, pero respecto al control fueron menores. En relación al %LL y de acuerdo a las correlaciones de Pearson anteriormente determinadas, podría inferirse que el complejamientoproducido durante la extrusión de las harinas disminuye las PPC de los panes. Similarmente Ma et al. (2018) encontraron que la adición de harina extruida de arroz en matrices de trigo disminuyó las PPC después del horneado del pan frente al control, por elaumento de las fuerzas intermoleculares de la matriz extruida. Esto puede ser positivo para la calidad del pan para evitar que pierdan humedad y sean secos y por lo tanto contribuiría a la calidad sensorial.

El volumen del pan es la característica más importante desde el punto de vista industrial, se desean panes voluminosos porque contribuyen al factor económico por su rendimiento y a su calidad (Martínez, 2017; Gómez, 2016). En este trabajo, el Vesp obtenido para los panes sustituidos con harina extruida fue aproximadamente la mitaden relación al control (Fig, 2-D). En este caso la adición de harina extruida tuvo un efecto negativo sobre el volumen del pan. Los mayores valores de Vesp se obtuvieron para las condiciones Ch6, Ch7 y Ch8, pero solo fueron significativamente ($p<0,05$) diferentes entre si las condiciones Ch, Ch1 y Ch9. Jafari et al. (2018) también obtuvieron Vesp bajos en panes de trigo adicionados con harina extruida de soja, atribuyendo a la extrusión la obtención de una miga más densa y celdas de gas más compactas. La reducción del Vesp de los panes también podría relacionarse con el complejamiento de los lípidos en las harinas por efecto de la extrusión, mayores valores de %LL (menor complejamiento) dan como resultado panes con mayores volúmenes. Esto es especialmente apreciable y significativo en la muestra control, que tiene el mayor contenido de %LL comparado con los panes adicionados con harina tratada por extrusión. Esto coincide con lo encontrado por Pessanha et al. (2021), quien indicó que la extrusión de harina integral de mijo produjo el complejamiento de amilosa con lípidos de la harina y esto generó una reducción del volumen específico de los panes formulados en su trabajo.

La elasticidad, la cohesión y la resiliencia de los panes son indicadoresde la estabilidad estructural del producto (Martínez, 2017). Las propiedades texturales de los panes formulados pueden observarse en las Fig. 2-E, 2-F y 2-G. Las condiciones Ch5, Ch6 y Ch8 presentaron aumentos significativos en la elasticidad, de los panes en relación al control.Aunque Ch5 y Ch6 presentaron altos aumentos en la cohesividad y resiliencia comparado con el pan control, solo Ch8 presentó un aumento estadísticamente significativo ($p<0,05$).Różańska et al.(2023) no encontraron una mejora en la elasticidad y cohesividad por adición de harina extruida en panes de arroz frente al control. Este autor empleó temperaturas de entre 80 y 120 °C, humedades 15 y 30 %. Sin embargo, los valores de elasticidad, cohesividad y resilienciade los panes obtenidos por Różańskafueron 2-3 veces superiores a los determinados para el maíz *Chulpi*. Por otro lado,Pessanha et al. (2021) encontraron diferencias significativas en elasticidad, cohesividad y resiliencia entre las muestras tratadas por extrusión (140 °C) y su control nativo, con características similares a panes comerciales. Estos resultados estarían indicando que las propiedades texturales de los panes adicionados con harina extruidas están condicionadas principalmente porlos parámetros de extrusión empleados (temperatura, humedad,

geometría del extrusor, velocidad de tornillo), niveles de sustitución, tipo de materia prima empleada, entre otros.

No están claras las razones por las que existe una leve mejora de las propiedades texturales de los panes formulados con harina extruida de maíz *Chulpi*, pero una de ellaspodríaser el aumento del IAA de las harinas extruidas(Murgüeytio, 2020), dadas sus correlaciones positivas (Tabla 3).

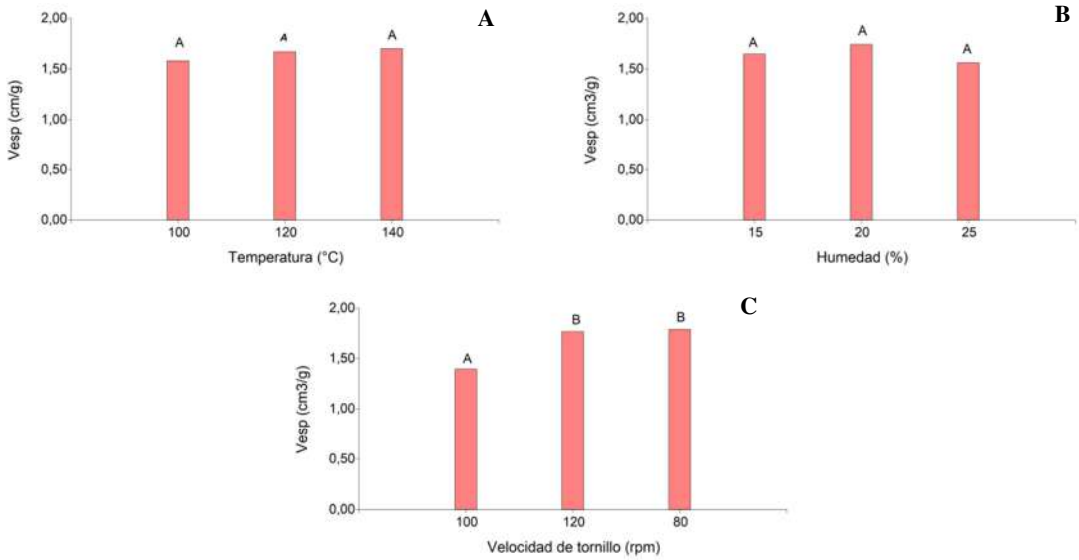


Figura 3. Efecto de los parámetros de extrusión sobre el volumen especifico de los panes sustituidos con harina extruida de maíz raza *Chulpi* según: (A) Temperatura, (B) Humedad y (C) velocidad de tornillo.Letras diferentes indican diferencias significativas ($p<0,05$).

De los parámetros de extrusión estudiados, la variación de la velocidad de tornillo fue el único que tuvo efectos significativos el volumen del pan, el parámetro de calidad principal en los productos de panadería aireados. Este resultado es contrario a lo que ocurre con panes homólogos formulados con maíz Bolita, en los que la temperatura y la humedad son los principales factores que contribuyen a modificar las propiedades tecnofuncionales de las harinas y el volumen del pan (Miranda, 2021). Esto puede deberse a las características de composición de los maíces y principalmente al rol que juega el contenido de amilosa (Martínez, 2017), comparativamente másbajo en el maíz *Chulpi*.

4. CONCLUSIÓN

La harina integral de maíz *Chulpi* pudo utilizarse para obtener panes sin gluten. El IAA y el %LL de las harinas extruidas estuvieron relacionados con los cambios en las propiedades texturales y de volumen de los panes obtenidos, principalmente cuando se compararon las muestras tratadas por extrusión y el control de harina nativa. La extrusión no produjo mejoras significativas en el volumen del pan, pero sí logró una leve mejora de su perfil textural. Por lo tanto, el potencial para formular panes sin gluten con harina de maíz *Chulpi* nativa-extruida en las condiciones probadases bajo.

5. AGRADECIMIENTOS

Al CONICET y SECyT-UNJu por el apoyo financiero brindado y al Proyecto ValSe-Food-CYTED (Nº 119RT0567).

6. REFERENCIAS

Al Loman, A.; Islam, S.M.; Li, Q.; Ju, L.K. (2017) Enzyme recycle and fed-batch addition for high-productivity soybean flour pro-cessing to produce enriched soy protein and concentrated hydrolysate of fermentable sugars. *Bioresour. Technol.* 241, 252–261. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.05.118.

Anderson, R.A., Conway H.F., Pfeifer V.F. y Griffin E.L (1969). Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Science Today*, 14, pp.4-12. DOI: https://doi.org/10.1002/star.19700220408

AOAC International. (2005). *Official Methods of Analysis International*. www.aoca.org.

Baks, T.; Ngene, I.S.; van Soest, J.J.G.; Janssen, A.E.M.; Boom, R.M. (2007). Comparison of methods to determine the degree of ge-latinisation for both high and low starch concentrations. *Carbohydr. Polym.* 67, 481–490. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.06.016.

Bravo-Núñez, Á., & Gómez, M. (2019). Physicochemical properties of native and extruded maize flours in the presence of animal proteins. *Journal of Food Engineering*, 243, 49-56. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.09.005

Byars, J. A., & Singh, M. (2015). Properties of extruded chia–corn meal puffs. *LWT-Food Science and Technology*, 62(1), 506-510. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.06.036

Chen, H., Zhao, C., Li, J., Hussain, S., Yan, S., & Wang, Q. (2018). Effects of extrusion on structural and physicochemical properties of soluble dietary fiber from nodes of lotus root. *LWT,* 93, 204-211. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.004

Comettant-Rabanal, R., De Carvalho, C. W. P., Ascheri, J. L. R., Hidalgo Chávez, D. W. y Germani, R. (2020). *Physical, textural and structural properties of gluten-free breads made from extruded whole grain flours*. En: Congresso on-line brasileiro de tecnologia de cereais e panificação, 2020, virtual. Anais Saudabilidade na Indústria de Cereais e Panificação. Sete Lagoas: Universidade Federal de São João del-Rei. http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1126445. Recuperado: 2 de Julio de 2021.

Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. (2020). *InfoStat versión 2020.* Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Giménez, M. A., Gámbaro, A., Miraballes, M., Roascio, A., Amarillo, M., Sammán, N., & Lobo, M. (2015). Sensory evaluation and acceptability of gluten□free Andean corn spaghetti. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 95(1): 186-192. https://doi.org/10.1002/jsfa.6704

Gómez, M. y Martínez, M.M. (2016). Changing flour functionality through physical treatments for the production of gluten-free baking goods. *J. Cereal Sci*., 67, pp.68-74. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.07.009

Jafari, M., Koocheki, A. & Milani, E. (2018). Physicochemical and sensory properties of extruded sorghum–wheat composite bread. *Food Measure* 12, 370–377 https://doi.org/10.1007/s11694-017-9649-4

Ma, J., Kaori, F., Ma, L., Gao, M., Dong, C., Wang, J., & Luan, G. (2019). The effects of extruded black rice flour on rheological and structural properties of wheat□based dough and bread quality. *International journal of food science & technology*, 54(5), 1729-1740. https://doi.org/10.1111/ijfs.14062

Martínez, M. M., & Gómez, M. (2017). Rheological and microstructural evolution of the most common gluten-free flours and starches during bread fermentation and baking. Journal of Food Engineering, 197, 78-86. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.11.008

Miranda, R. M., Amaya, A. A., Lobo, M. O., & Sammán, N. C. (2021). Gluten-Free Breadmaking with Extruded Whole-Grain Andean Maize Flours. *Biology and Life Sciences Forum.* 8 (1) p. 5. https://doi.org/10.3390/blsf2021008005

Miranda, R. M., Domínguez, N. E., Giménez, M. A., Lobo, M. O. y Sammán, N. C. (2022) «Tecnofuncionalidad de harinas integrales de maíces andinos (Zea Mays) nativas y extrudidas», *INNOTEC*, (24 jul-dic), p. e599. doi: 10.26461/24.02.

Murgüeytio, E., & Santacruz, S. (2020). Volume, firmness and crumb characteristics of gluten-free bread based on extruded quinoa flour and lactic acid. *Brazilian Journal of Food Technology*, 23, e2019220. https://doi.org/10.1590/1981-6723.22019

Pasqualone, A., Costantini, M., Faccia, M., Difonzo, G., Caponio, F., & Summo, C. (2022). The effectiveness of extruded-cooked lentil flour in preparing a gluten-free pizza with improved nutritional features and a good sensory quality. *Foods*, 11(3), 482. https://doi.org/10.3390/foods11030482

Patil, S., Charanjit, K. A. U. R., Puniya, M. K., Mahapatra, A., LAD, J. D., Jalgaonkar, K., & Mahawar, M. (2021). Functional properties of extruded corn flour. *Turkish Journal of Agricultural Engineering Research*, 2(1), 167-174. https://dergipark.org.tr/en/pub/turkager/issue/62694/879803

Pessanha, K. L. F., de Menezes, J. P., dos Anjos Silva, A., da Silva Ferreira, M. V., Takeiti, C. Y., & Carvalho, C. W. P. (2021). Impact of whole millet extruded flour on the physicochemical properties and antihyperglycemic activity of gluten free bread. *LWT*, 147, 111495. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111495

Różańska, M. B., Kokolus, P., Królak, J., Jankowska, P., Osoś, A., Romanowska, M., . & Mildner-Szkudlarz, S. (2023). Insight into the Gluten-Free Dough and Bread Properties Obtained from Extruded Rice Flour: Physicochemical, Mechanical, and Molecular Studies. *Applied Sciences*, 13(6), 4033.https://doi.org/10.3390/app13064033

Salvador-Reyes, R. y Clerici, M.T.P.S. (2020). Peruvian Andean maize: General characteristics, nutritional properties, bioactive compounds, and culinary uses. *Food Research Internationa*l, 130, pp.108934. DOI:

Sciarini, L. S., Steffolani, M. E., & Leon, A. E. (2016). El rol del gluten en la panificación y el desafío de prescindir de su aporte en la elaboración de pan. *Agriscientia*, 33(2), 61-74. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1668-298X2016000200001&script=sci_arttext&tlng=en

Torbica, A., Belović, M., Popović, L., & Čakarević, J. (2021). Heat and hydrothermal treatments of non-wheat flours. *Food Chemistry*, 334, 127523. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127523

Caracterización molecular de la respuesta a ácidos biliares de una bacteria láctica potencialmente probiótica empleando espectroscopia Raman

Moreno, Caren[1]; Gómez, Nicolás[2]; Carol Paz, Juan[2]; Taranto, María Pía[3];Bustos, Ana Y.[2,3*]; Ledesma, Ana E.*[2,4]

(1) Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero. carenmoreno28@gmail.com; abustos@uspt.edu.ar

(2) Centro de Investigación en Biofísica Aplicada y Alimentos (CIBAAL-UNSE-CONICET), Universidad Nacional de Santiago del Estero. carolpazjuanjose@gmail.com

(3) Centro de Referencia para Lactobacilos,

(4) Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero. anael@unse.edu.ar

RESUMEN

La resistencia a los ácidos biliares (AB) es un importante criterio de selección de cepas potencialmente probióticas, es decir, aquellas que cuando son administradas en cantidades apropiadas ejercen un efecto benéfico en el hospedador. Sin embargo, los mecanismos moleculares por los cuales los AB afectan la viabilidad celular, aún permanecen sin dilucidar. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue estudiar el efecto antimicrobiano de los AB sobre la cepa potencialmente probiótica*Lentilactobacillus (L)parabuchneri* CB12 y evaluar su efecto sobre sus principales componentes celulares empleando espectroscopia Raman. Nuestros resultados demuestran que el ácido deoxicólico (ADC) presentó mayor efecto antimicrobiano que el ácido taurodeoxicólico (ATDC) y que el efecto fue dependiente de la concentración. Los cambios espectrales inducidos por el ADC indicarían que el efecto está asociado a la perturbación de macromoléculas, especialmente proteínas, lípidos y carbohidratos, a bajas concentraciones y ADN a concentraciones elevadas. Por el contrario, en presencia de ATDC sólo se observan ligeras modificaciones a bajas concentraciones, indicando un mecanismo de interacción diferente. Estos hallazgos proporcionan una comprensión más profunda de la interacción de los AB con macromoléculas y nos permiten profundizar en la comprensión de su papel como agentes antimicrobianos.

ABSTRACT

Bile acid (BA) resistance is an important selection criterion for potentially probiotic strains, i.e. those that when administered in appropriate amounts exert a beneficial effect on the host. However, the molecular mechanisms by which BAs affect cell viability remain to be elucidated. Therefore, the aim of the present work was to study the antimicrobial effect of BAs on the potentially probiotic strain *Lentilactobacillus (L) parabuchneri* CB12 and to evaluate their effect on its main cellular components using Raman spectroscopy. Our results show that deoxycholic acid (DCA) had a greater antimicrobial effect than taurodeoxycholic acid (TDCA) and that the effect was concentration-dependent. The spectral changes induced by DCA would indicate that the effect is associated with the disruption of macromolecules, especially proteins, lipids and carbohydrates, at low concentrations and DNA at high concentrations. In contrast, in the presence of TDCA only slight modifications are observed at low concentrations, indicating a different interaction mechanism. These findings provide a deeper understanding of the interaction of ABs with macromolecules and allow us to deepen our understanding of their role as antimicrobial agents.

Palabras claves: Ácidos biliares- Espectroscopia Raman- Actividad antimicrobiana

Keywords: Bile acids- Raman spectroscopy- Antimicrobial activity

1. INTRODUCCION

Los ácidos biliares (AB), principales constituyentes de la bilis, se sintetizan en el hígado a partir del colesterol. Químicamente, son esteroides y se encuentran constituidos por un sistema de cuatro anillos fusionados del ciclopentanoperhidrofenantreno. Antes de su liberación al intestino, los AB se conjugan con los aminoácidos taurina o glicina (Li y Chiang, 2015). Luego, se segregan al intestino durante el proceso de digestión, donde desempeña un papel fundamental en la emulsificación y absorción de lípidos. Allí, los AB son susceptibles de modificaciones por parte de la microbiota intestinal (Bustos et al., 2018), entre ellas la hidrólisis de los AB para liberar la contraparte libre más el aminoácido correspondiente. Los AB más frecuentes en el intestino humano son el ácido cólico y su derivado derivado estrechamente relacionado, el ácido desoxicólico ADC. Estos AB pueden alcanzar altas concentraciones milimolares en el intestino delgado.

Los AB son detergentes biológicos con potente actividad antimicrobiana, ya que alteran la estructura de la bicapa lipídica de las membranas celulares bacterianas, inducen el mal plegamiento de las proteínas y causan daños oxidativos en el ADN y ARN, y acidificación intracelular (Bustos et al., 2012; Bustos et al., 2022). Por ello, la resistencia a los AB es un importante criterio de selección de cepas potencialmente probióticas, es decir, aquellas que cuando son administradas en cantidades apropiadas ejercen un efecto benéfico en el hospedador (Hill et al., 2014). Sin embargo, los mecanismos moleculares por los cuales los AB afectan las membranas microbianas y otras macromoléculas, aún permanecen sin dilucidar.

La espectroscopia Raman es una técnica espectroscópica basada en modos vibracionales, cuya medida corresponde a la región infrarroja del espectro electromagnético que se basa en la dispersión inelástica de la luz incidente. Esta innovadora técnica proporciona información basada en modos vibratorios de estiramiento y flexión en función de la frecuencia u otra magnitud relacionada. La dispersión Raman depende de los cambios en la polarizabilidad de los grupos funcionales cuando vibran los átomos. Un espectro Raman representa las huellas digitales de la composición química de bacterias, considerando su estructura (perfil de proteínas, composición de ácidos grasos, polisacáridos, ácidos nucleicos, etc) (Vandamme et al., 1996). En este marco, el objetivo del presente trabajo fue estudiar el efecto antimicrobiano de los AB sobre la cepa potencialmente probiótica*Lentilactobacillus (L.)parabuchneri* CB12 y evaluar su efecto sobre sus principales componentes celulares empleando espectroscopia Raman.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. *Microorganismos y condiciones de cultivo*

La cepa *L. parabuchneri*CB12, aislada e identificada previamente por nuestro grupo de trabajo, fue seleccionada por sus propiedades potencialmente probióticas, incluyendo la actividad hidrolasa de sales biliares, alta hidrofobicidad y autoagregación (Sesín 2022, Trabajo final de Grado). La cepa fue cultivada en caldo MRS a 37°C durante 24 hs previo a su empleo en los diferentes ensayos.

2.2. *Ácidos biliares*

Los AB se obtuvieron de Sigma-Aldrich, Reino Unido. Se evaluaron el AB libre ADC, por ser uno de los más abundantes encontrados en intestino y su conjugado el ácido taurodeoxicólico (ATDC), ya que la cepa CB 12 demostró elevada actividad HSB frente a este AB. Se evaluaron concentraciones finales de 2,5; 5; 7,5 y 10 mM para ATDC y 0,05; 0,1; 0,5; 1; 1,5; 2 y 2,5 mMpara ADC. Las concentraciones de AB utilizadas son consistentes con las encontradas en el lumen intestinal, que son variables, pero generalmente altas, estimadas en el rango milimolar medio de 6 a 10 mmol / L (Bustos et al., 2022).

2.3. *Actividad antimicrobianade los ácidos biliares*

Se evaluó la actividad antimicrobiana de los ABs frente a la cepa*L. parabuchneri* CB12. Para ello, el microorganismo se cultivó durante 16 h a 37° C en caldo MRS en ausencia y presencia de 2,5; 5;

7,5 y 10 mM de ATDC y 0,05; 0,1; 0,5; 1; 1,5; 2 y 2,5 mM de ADC. La viabilidad celular se determinó a través de medidas de densidad óptica a 560 nm. Dichas medidas se efectuaron por triplicado para cada una de las concentraciones, posteriormente en base a ellas para cada uno de los datos se calculó %Sobrevida empleando la fórmula:

$$\% \, Sobrevida = \frac{N_t * 100}{N_c}$$

Donde N_cy $N_t$corresponden a las medidas de densidad óptica de la cepa CB12 en medio MRS y MRS con el agregado de ABs a distintas concentraciones, respectivamente.

Se calculó % Sobrevida promedio y la desviación estándar (DE).

2.4. *Preparación de células para espectroscopia RAMAN*

La cepa se cultivó durante 16 h a 37° C en caldo MRS en presencia y ausencia de los AB conjugados y libres, a diferentes concentraciones finales. Luego las células se recolectaron por centrifugación a 6000 x g a 20° C por 10 minutos, seguidamente se lavaron dos veces con solución fisiológica estéril (NaCl 0,8 % p/v) y se resuspendieronen tampón fosfato de sodio 20 mM, pH 7,2. Se empleó una alícuota de esta suspensión celular para el registro de espectros Raman.

2.5. *Análisis Espectral*

Los espectros Raman de las muestras de bacterias, así como la de los extractos libres de célula fueron registrados en un espectrómetro HoribaLabRam HR Evolution en los servicios técnicos de INBIONATEC-UNSE-CONICET. Los espectros fueron adquiridos a una longitud de onda de 785 nm en el rango entre los 2000 a 100 cm^{-1} durante 30 s. Después de cada adquisición, el láser fue enfocado sobre la superficie de una nueva bacteria. Un total de 10 espectros fueron registrados para cada una de las muestras. Los espectros fueron procesados mediante corrección de ruido y línea de base usando el software de procesamiento de imágenes LabSpec 6 y el análisis de los espectros fue realizado con el software OPUS 7.1.

2.6. *Análisis estadístico*

Los resultados son la media de al menos tres experimentos independientes y se presentan con su desviación estándar. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de un solo factor sobre la media de los datos. Se utilizó la prueba de Tukey para evaluar las diferencias significativas entre las medias de cada cepa.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. *Actividad antimicrobiana de los ácidos biliares*

Para proporcionar efectos beneficiosos para la salud del huésped, las bacterias probióticas deben sobrevivir a través del tracto gastrointestinal, tolerando la presencia de AB para luego colonizar el tracto intestinal. En efecto, los AB ejercen un potente efecto antimicrobiano, principalmente relacionado con su acción detergente que altera la membrana celular bacteriana, daña el ADN y provoca el mal plegamiento de las proteínas (Bustos et al., 2018).

En las figuras 1 y 2 se muestran los porcentajes de sobrevida para la cepa CB12, seleccionada por sus potenciales propiedades probióticas, en medio MRS con ADC y ATDC a distintas concentraciones, respectivamente.

A concentraciones bajas de ADC (0,05 y 0,1 mM) no se observó un efecto deletéreo contra las células. Sin embargo, a concentraciones mayores a 0,5 mM, se observó una disminución de la sobrevida en un rango de 21,79 a 27,73 %.

En presencia del AB conjugado se observó que el efecto antimicrobiano fue dependiente de la concentración. A la menor concentración ensayada (2,5 mM) no se observaron grandes diferencias respecto del control sin AB. A concentraciones de 5, 7,5 y 10 mM de ATDC, el efecto antimicrobiano aumenta conforme aumenta la concentración del AB, mostrando una sobrevida de 92,04; 79,98 y 69,58%, respectivamente.

Nuestros resultados muestran que la cepa presenta una notable resistencia al ATDC, mientras que el ADC presentó mayor efecto antimicrobiano, resultados que concuerdan con los datos

publicados anteriormente (Bustos et al., 2012; Bustos et al., 2015).

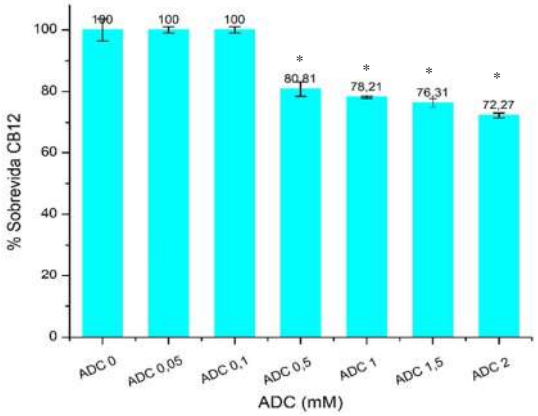


Figura 1. Porcentajes de sobrevida de la cepa *L.parabuchneri* CB12 en medio MRS con diferentes concentraciones de ADC. * Indica diferencias estadísticamente significativas respecto del control sin AB.

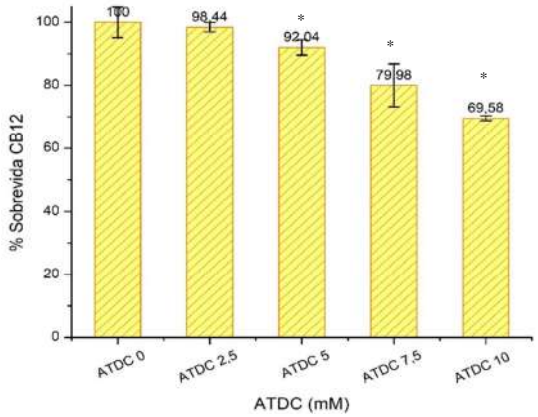


Figura 2. Porcentajes de sobrevida de la *L.parabuchneri* CB12 en medio MRS con diferentes concnetraciones de ATDC. * Indica diferencias estadísticamente significativas respecto del control sin AB.

3.2. *Análisis de regiones espectrales de la cepa CB12*

Desde un punto de vista químico, las bacterias lácticas y los probióticos son sistemas muy complejos que originan enrevesados espectros Raman. En la figura 3 se muestra el espectro Raman de la cepa *L.parabuchneri* CB12, seleccionada por sus potenciales propiedades probióticas.

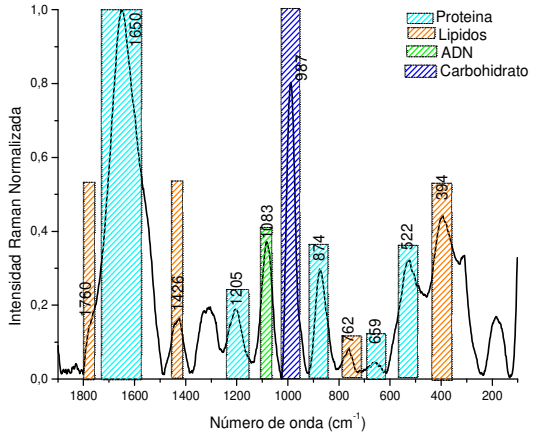


Figura 3. Espectro Raman para *L.parabuchneri* CB12. Los recuadros coloreados representan bandas vibracionales asociadas con diferentes familias de moléculas: lípidos, proteínas, carbohidratos y ADN.

Todas las bacterias comparten estructuras básicas, como paredes celulares y membranas celulares, pero la composición y tipos de lípidos, proteínas, carbohidratos y ácidos nucleicos varían dependiendo de las especies e incluso de las cepas bajo estudio (Rodriguez et al., 2017).

Las proteínas representan entre 40 y 50 % de una célula bacteriana, así la banda localizada en el espectro Raman a 1650 cm^{-1} es atribuida a la banda amida I principalmente υ C=O de enlace amida y la banda a 1205 cm^{-1} correspondiente a la amida III es atribuida a υ C-N. La banda localizada a 874 cm^{-1} corresponde a la banda de vibración simétrica del enlace CNC de proteínas. La banda a 659 cm^{-1} atribuida a la deformación N-H (βN-H) está asociada a proteínas de membranas y su intensidad varía dependiendo de la especie bacteriana. La banda a 522 cm^{-1} se atribuye a la presencia de enlaces disulfuro C-S-S-C, importantes para la estabilidad y el funcionamiento adecuado de las proteínas de bacteria (Kashif et al., 2021).

Los hidratos de carbono representan de un 10 a un 20 % de la célula bacteriana, La banda intensa centrada en 987 cm^{-1} puede ser atribuida a vibraciones de υC-O y C-C de este tipo de componente celular en bacterias (Rodriguez et al., 2017).

Los lípidos constituyen entre un 10 y un 15 % de las células bacterianas, así el hombro que se

observa a 1760 cm^{-1} puede ser atribuido al modo de υC=O de esteres lipídicos. La banda localizada a 1426 cm^{-1} puede ser atribuida a los modos de deformación C-H de lípidos, mientras que la banda a 762 cm^{-1} es atribuida al modo de vibración ρCH_2 de estos componentes de la célula bacteriana (Rodriguez et al., 2017). La banda localizada a 394 cm^{-1}, muy poco frecuente en espectros vibracionales de bacterias, fue recientemente atribuida a modos de vibración del grupo fosfato (Vaitiekunaite et al., 2022).

3.3. *Efecto de ácidos biliares sobre la composición de macromoléculas celulares*

El efecto antimicrobiano de los AB es complejo y multifactorial. La Figura 4 muestra los espectros Raman registrados para la cepa CB12 incubada en caldo MRS (condición control) y la cepa incubada con ADC a bajas concentraciones, junto con el espectro Raman de una solución acuosa de ADC 4 mM, incluída como control.

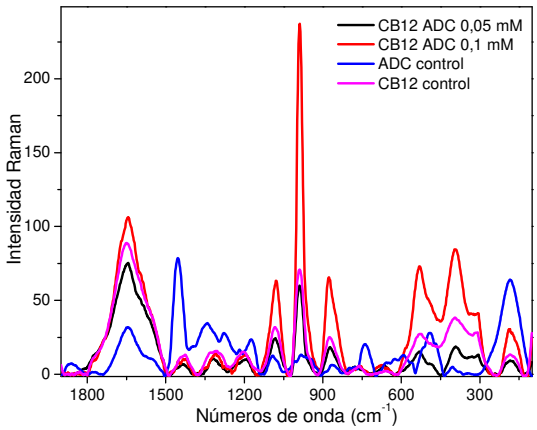


Figura 4. Espectros Raman de *L.parabuchneri* CB12 en presencia y ausencia de 0,05 y 0,1 mM de ADC.

En presencia de ADC 0,05 mM, no se observan cambios significativos, lo que coincide con lo observado en los ensayos de viabilidad, ya que esta concentración no afectó el crecimiento de la cepa. Con 0,1 mM de ADC, se observa un incremento en la intensidad de la banda localizada a los 989 cm^{-1} atribuida a modos de estiramiento υC-O y C-C de carbohidratos. Un comportamiento similar fue observado para las bandas localizadas en los 530 y 395 cm^{-1}, atribuidas a los enlaces disulfuro de proteínas y deformaciones al grupo fosfato de lípidos. Asimismo, el desplazamiento espectral de la banda a 522 cm^{-1} observada en la condición control hacia 530 cm^{-1} cuando es incubada con ADC 0,1 mM, indican una ruptura de los puentes disulfuro como consecuencia de la exposición al AB libre.

Estos cambios pueden apreciarse mejor cuando se sustrae el aporte del AB de los espectros Raman registrados, como se muestra en la figura 5.

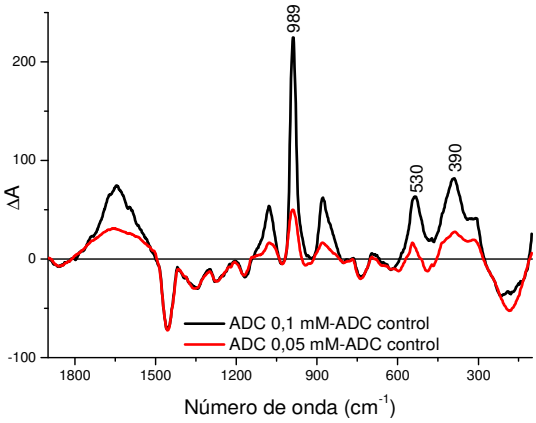


Figura 5. Comparación de espectros Raman de *L.parabuchneri*CB12 incubada con 0,05 y 0,1 mM de ADC sin la contribución del espectro del AB.

A mayores concentraciones de ADC (1,0 y 2,0 mM), las modificaciones sobre los perfiles espectrales son mucho más significativos como se observa en la Figura 6.

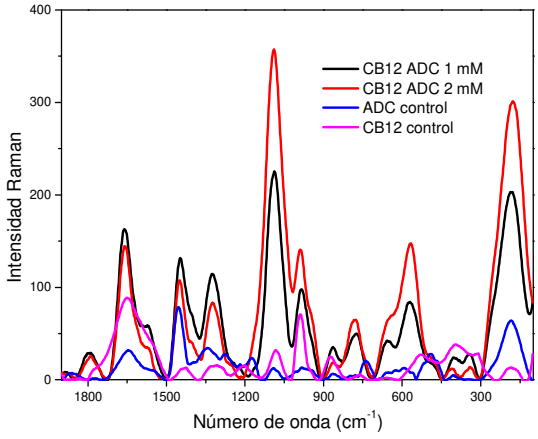


Figura 6. Espectros Raman de *L.parabuchneri* CB12 en presencia y ausencia de 1,0 y 2,0 mM de ADC.

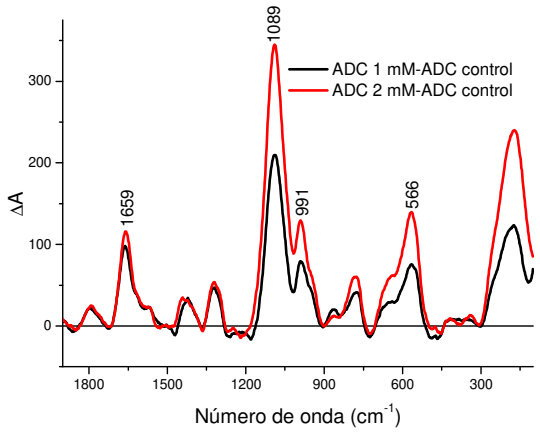


Figura 7. Comparación de espectros Raman de *L. parabuchneri*CB12 incubadas con ácido ADC a altas concentraciones. Se sustrajo la contribución de la solución de ADC, incluida como control.

En efecto, en estas condiciones se observa un considerable incremento de la intensidad de la banda localizada a 1089 cm^{-1}, atribuida a la señal del ADN, acompañada con un incremento de las intensidades de las bandas amida I y disulfuro de proteínas. El efecto es aún mayor cuanto mayor es la concentración de ADC.

Un comportamiento diferente puede ser observado cuando la cepa es incubada con el ATDC 2.5 mM, donde se modifican las bandas de carbohidratos (930 cm^{-1}) y proteínas a 1650 cm^{-1}. A concentraciones mayores solo se observan ligeros cambios en los perfiles de los espectros Raman, tal como se muestra en la Figura 7.

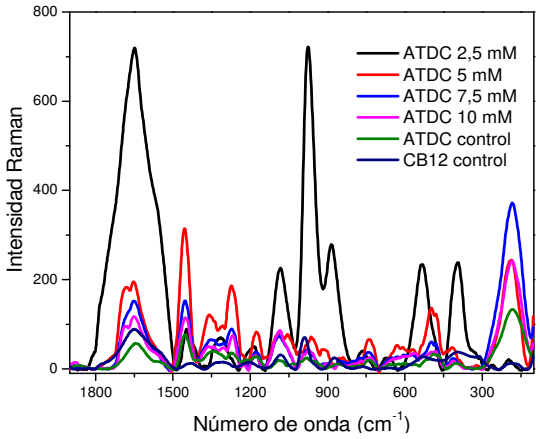


Figura 8. Espectros Raman de *L. parabuchneri* CB12 en presencia y ausencia de2,5; 5; 7,5 y 10 mM de ATDC.

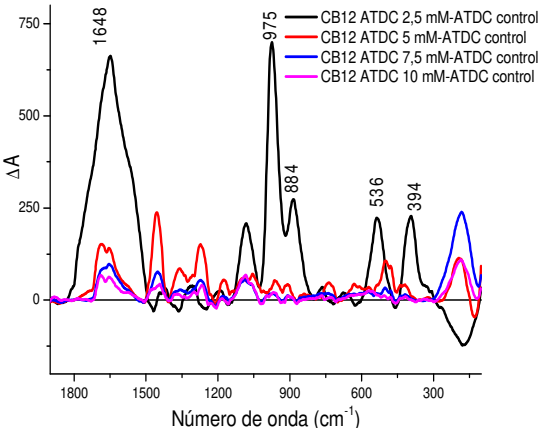


Figura 9. Comparación de espectros Raman de *L. parabuchneri*CB12 incubadas con ácido ATDC a diferentes concentraciones. Se sustrajo la contribución de la solución de ATDC, incluida como control.

En general se observa que los mayores cambios espectrales se dan en las bandas atribuidas a carbohidratos y proteínas. Estos resultados evidencian que la presencia del aminoácido taurina modifica la interacción del AB con la célula, sin generar grandes cambios en la membrana de la bacteria comparado con el ADC.

Las cepas de bacterias lácticas candidatas a ser probióticos, así como las que son miembros de la microbiota intestinal autóctona humana, deben hacer frente al efecto deletéreo de los AB. Estos compuestos ejercen un efecto inhibidor sobre la mayoría de las cepas Gram positivas y Gram negativas (Bustos et al., 2018). Este efecto es dependiente de la cepa bajo estudio, así como del AB empleado y su concentración. Nuestros resultados muestran que la cepa potencialmente probiótca*L. parabuchneri* CB12 muestra elevada resistencia al ATDC aún en elevadas concentraciones, mientras que el ADC presentó potente actividad antimicrobiana, aún en bajas concentraciones. Estos resultados coinciden con hallazgos previos que indican que los AB libres son más tóxicos para las células que sus contrapartes conjugados (Bustos et al., 2012).

Nuestros resultados demuestran que el ADC a bajas concentraciones modifica las bandas

correspondientes a lípidos y proteínas, mientras que a elevadas concentraciones se observa alteración de la banda correspondiente al ADN.

En este sentido, se ha demostrado que, por su carácter anfipático, los AB interaccionan con la bicapa lipídica de las células, provocando cambios en la integridad de las membranas (Cremers et al., 2014). En efecto, los AB podrían incorporarse a la bicapa fosfolipídica, lo que interferiría en la disposición normal de las moléculas, causando una pérdida de integridad de la membrana (Kurdi et al., 2005). También se sabe que los AB entran en el citosol bacteriano a través de un mecanismo de flip-flop y, una vez en el citosol, provocan la sobreexpresión de genes implicados en la reparación del ADN (Bustos et al., 2015). Estos resultados sugieren que las sales biliares pueden causar daños oxidativos en esta macromolécula. Por último, recientes estudios realizados por nuestro grupo de trabajo demuestran que el ATDC y ADC provocan cambios estructurales y funcionales en proteínas, siendo el efecto más evidente en presencia del AB libre (Bustos et al., 2022).

4. CONCLUSIONES

Nuestros resultados demuestran que los AB afectan la viabilidad de la cepa *L. parabuchneri* CB12. Este efecto fue más evidente con el ADC, de manera dependiente de la concentración. Los cambios espectrales inducidos por el ADC indicarían que el efecto está asociado a la perturbación de macromoléculas, especialmente proteínas y lípidos a bajas concentraciones y ADN a concentraciones elevadas. Por el contrario, en presencia de ATDC sólo se observan ligeras modificaciones a bajas concentraciones, indicando un mecanismo de interacción diferente. Estos hallazgos proporcionan una comprensión más profunda de la interacción de los AB con macromoléculas y nos permiten profundizar en la comprensión de su papel como agentes antimicrobianos.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Dr. Jorge Rojas por los registros de los espectros Raman en los servicios técnicos del Laboratorio de microscopia del INBIONATEC-UNSE-CONICET. Este trabajo fue financiado por los siguientes proyectos: Proyectos A código 23/C179-A2022 de la UNSE, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas Proyecto No. 11220200102036CO y 2872021010 0456CO y Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica Proyecto No. 2019-01323.

REFERENCIAS

Bustos, A. Y., Saavedra, L., de Valdez, G. F., Raya, R. R., & Taranto, M. P. (2012).*Relationship between bile salt hydrolase activity, changes in the internal pH and tolerance to bile acids in lactic acid bacteria.* Biotechnology letters, 34, 1511-1518.

Bustos A.Y, Font de Valdez G, Raya R, de Almeida AM, Fadda S, Taranto MP (2015) *Proteomic analysis of the probiotic Lactobacillus reuteri CRL1098 reveals novel tolerance biomarkers to bile acid-induced stress.*Food Res Int 77:599-607. doi:10.1016/j.foodres.2015.10.001

Bustos, A. Y., Font de Valdez, G., Fadda, S., Taranto M. P. (2018). New insights into bacterial bile resistance mechanisms: the role of bile salt hydrolase and its impact on human health. *Food Research International*, 112, 250–262. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.035.

Bustos, A. Y., de los Angeles Frias, M., & Ledesma, A. E. (2022). Biophysical and Structural Insights in αΔ Amylase and Bile Acids interaction. ChemistrySelect, 7(14), e202103198.

Cremers, C. M. Knoefler, D., Vitvitsky, V., Banerjee, R. Jakob, U. (2014). Bile salts act as effective protein-unfolding agents and instigators of disulfide stress in vivo. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(16), E1610-E1619. https://doi.org/10.1073/pnas.1401941111

Hill, C., Guarner, F., Reid, G., Gibson, G. R., Merenstein, D. J., Pot, B., Morelli, L., Canani, R. B., Flint, H. J., Salminen, S., Calder, P. C., & Sanders, M. E. (2014). *Expert consensus document: The international scientific association for probiotics and prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic.* Nature Reviews Gastroenterology and Hepatology,

11(8), 506–514. https://doi.org/10.1038/nrgastro.2014.66

Kashif, M., Majeed, M. I., Nawaz, H., Rashid, N., Abubakar, M., Ahmad, S., Ali, S., Hyat, H., Bashir, S., Batool, F., Akbar, S., Anwar, M. A. (2021). Surface-enhanced Raman spectroscopy for identification of food processing bacteria. *SpectrochimicaActa Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 261, 119989. https://doi.org/10.1016/j.saa.2021.119989

Kurdi, P., Kawanishi, K., Mizutani, K., & Yokota, A. (2006). Mechanism of growth inhibition by free bile acids in lactobacilli and bifidobacteria. Journal of bacteriology, 188(5), 1979-1986.

Li, T. y Chiang, J. Y. L. (2015). Bile acids as metabolic regulators. *Current Opinion in Gastroenterology,* 31(2), 159–165. https://doi.org/10.1097/MOG.0000000000000156

Rodriguez, S. B., Thornton, M. A., Thornton, R. J. (2017). Discrimination of wine lactic acid bacteria by Raman Spectroscopy. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 44(8), 1167–1175.https://doi.org/10.1007/s10295-017-1943-y.

Santos, M. I., Gerbino, E., Tymczyszyn, E., Gomez-Zavaglia, A. (2015). Applications of Infrared and Raman Spectroscopies to Probiotic Investigation. *Foods*, 4, 283-305; https://doi.org/doi:10.3390/foods4030283

Vaitiekunaite, D., Bruzaite, I., Snitka, V. (2022). Endophytes from blueberry (Vaccinium sp.) fruit: Characterization of yeast and bacteria via label-free surface-enhanced Raman spectroscopy (SERS). *SpectrochimicaActa Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 275, 121158. https://doi.org/10.1016/j.saa.2022.121158

Vandamme, P., Pot, B., Gillis, M., de Vos, P., Kersters, K., Swings, J. (1996). Polyphasic taxonomy, a consensus approach to bacterial systematics. Microbiology. Review, 60(2), 407–438. https://doi.org/10.1128/mr.60.2.407-438.1996.

Zhou, Y., Maxwell, K. N., Sezgin, E., Lu, M., Liang, H., Hancock ,J. F., Dial, E. J., Lichtenberger, L. M., Levental, I. (2013). Bile Acids Modulate Signaling by Functional Perturbation of Plasma Membrane *Domains. Journal of Biological Chemistry,* 288(50), 35660–35670. https://doi.org/10.1074/jbc.M113.519116

Situación de la problemática de malezas en algodón en la zona de riego en Santiago del Estero

Ochoa, María del C.[1]; Pereyra, Paola[1]; Vittar, Luisina[1]; Moran Vieyra[1], José; Mondino,Mario H.[1,2]

(1) Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero. mariadelc8a@gmail.com

(2) Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, EEA Santiago del Estero. mondino.mario@inta.gob.ar

RESUMEN

Con el objetivo de conocer la problemática actual de las malezas en algodón y su manejo, se realizó una encuesta a productores, técnicos y asesores privados en la zona de riego del Rio Dulce que abarco 19741 ha. La misma permitió conocer los cambios en la comunidad de malezas y el manejo que realizan durante el barbecho y el ciclo donde hubo un incremento entre otras, de malezas perennes como *Sorghumhalepense*, *Cyperusrotundus*, de anuales como *Amaranthushybridus*, *Ipomoeanil*y *Conyzabonariensis* en barbecho, de difícil control con glifosato.Como respuesta a lo anterior están realizando cultivos de cobertura y manifestaron la ausencia de incentivos económicos para nuevas alternativas y de un manejo alternativo al control químico.

ABSTRACT

In order toknow the current problem of weeds in cotton and its management, a survey was carried out among farmers, technicians and private advisors in the Rio Dulce irrigation area that covered 19,741ha. It allowed knowing the changes in the weed community and the management they carried out during the fallow and cycle where there was an increase, among others, of perennials weed such as *Sorghum halepense*, *Cyperus rotundus*, of annuals such as *Amaranthus hybridus*, *Ipomoea nil* y *Conyza bonariensis*in fallow, difficult to control with glyphosate. In response to the above, they are cultivating cover crops and expressed the absence of economic incentives for new alternatives and another management to chemical control

Palabras claves: malezas-algodón-manejo-encuesta

Keywords: weed-cotton-management-survey

1. INTRODUCCION

Santiago del Estero es la principal provincia productora de algodón del país, con una superficie de 130000 has sembradas en la campaña 2021-2022, que significaron el 45% del total en Argentina (SISA, 2022). Uno de los mayores desafíos es el manejo eficiente de malezas en el cultivo, llevándose éstas los mayores costos productivos.En el área de riego, el cultivo se realiza con manejo convencional y en los últimos años en siembra directa, con variedades RR y Bt. Los técnicos y productores que trabajan en la zona manifestaron que en los últimos años el manejo de malezas, debido al aumento de especies de difícil control de manera tradicional, se transformó en uno de los principales problemas para el cultivo. Por ello nos planteamos el objetivo de una encuesta para conocer las especies más abundantes de malezas en el cultivo de algodón y la situación actual, que a criterio de Técnicos y Productores sean de difícil control en el área de riego del Río Dulce.

La situación en la zona de riego sobre el manejo del cultivo referida a especies presentes, herbicidas utilizados, etc.

2. MATERIALES Y METODOS

Se elaboró una encuestacon preguntas tales que nos den las pautas para conocer la situación del área relevada, la misma se realizó, durante los meses de abril de 2022 a enero de 2023, vía correo electrónico o presencial a una muestra de 30 técnicos, productores y asesores de empresas u organismos que trabajan en el cultivo en el Área de Riego del Rio Dulce. La misma incluyo 14 preguntas (tabla 1). La superficie que representaron los técnicos, productores (pequeños, medianos y grandes) y asesores públicos y privados fue de 19743 Ha, correspondientes a la zona I, II, III y IV de riego.

Tabla 1. Encuesta sobre las principales malezas problemaen el cultivo, herbicidas utilizados, manejo de resistencia y prácticas de manejo integrado de malezas (MIM).

N°	Pregunta
1	Conoce la diferencia entre malezas resistentes y malezas tolerantes
2	De las siguientes especies de malezas, marque con una X las que a su criterio han incrementado su importancia en los últimos años en el cultivo de algodón y que son de difícil control con Glifosato
3	De las siguientes especies de malezas, marque con una X las que Ud. considera disminuyeron su importancia en cultivos de algodón
4	Marque con una X, las especies de malezas que incrementaron su presencia en barbechos de otoño (agregar de ser necesario)
5	Como realiza el control de malezas en el período sin algodón (entre zafra)
6	En caso de emplear control químico durante el período sin cultivo de algodón, marque con una X, los herbicidas utilizados (agregar de ser necesario)
7	Marque con una X, los herbicidas utilizados antes de la siembra y durante el ciclo de algodón (de ser necesario, agregar la cantidad de herbicidas que crea conveniente)
8	Cuál de las siguientes medidas cree son las adecuadas para evitar el problema de malezas tolerantes/resistentes en un lote, marque con una X, la /s opciones correctas (agregar de ser necesario)
9	Como procede cuando detecta que una maleza no es controlada por Glifosato u otro producto.Marque con una X la/s opción/es correcta/s
10	Cuál de las siguientes medidas cree son las principales causas del problema de malezas tolerantes/resistentes en un lote, marque con una X, la /s opciones correctas (agregar de ser necesario)
11	Conoce el concepto de MIM (Manejo Integrado de Malezas). Marque con una X lo que corresponda
12	Del siguiente listado, correspondiente a un programa de MIM, cuales considera factibles de ser puestos en prácticaen el lote para evitar problemas de malezas tolerantes/resistentes
13	Considera que los costos de la puesta en práctica de un programa de MIM, conlleva a mayores, menores u otro en los costos de manejo.
14	Cualquier otra colaboración que pueda aportar

3. RESULTADOS

Los resultados muestran que el 83 % de los encuestados manifestó tener conocimientos con respecto a la diferencia que existe entre malezas resistentes y tolerantes, un 13 % no contestó y un 3% dijo desconocer el tema. En lo que se refiere a las malezas que incrementaron su importancia y son de difícil control con glifosato, mencionaron tanto especies anuales como perennes, tales como:*Amaranthushybridus*, *Sorghumhalepense*, *Ipomoeaspp*., *Cyperusrotundus* y *Conyzabonaeriensis* como se muestra en la figura 1.

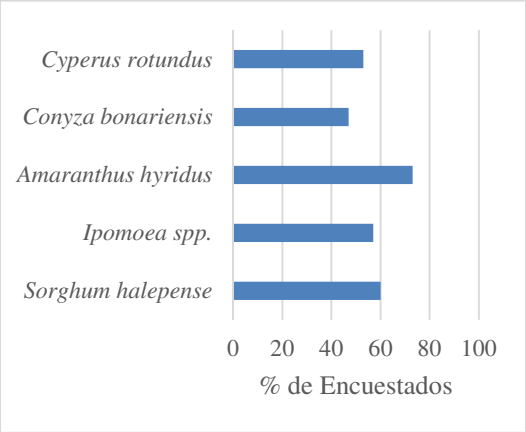


Figura 1: Especies de malezas que incrementaron su importancia y son de difícil control con glifosato en el cultivo de algodón.

Otras especies que también incrementaron su importancia, mencionadas como de difícil control con glifosato, fueron principalmente malezas de ciclo primavero - estival, como: *Chenopodiumalbum* (30%), *Portulaca oleracea* y *Echinochloa colona*(27%), *Sphaeralceabonaeriensis* y *Chloris elata* (20%), *Pappophorumspp* (13%), *Eleusine indica* (10%) *Commelina erecta, Gomphrenapulchella, Borreriaspinosa*,*Digitariasanguinalis* (7%) y *Flaveriabidentis* (3%). Mientras que las especies que disminuyeron su importancia con respecto a campañas pasadas en el cultivo son las que se muestran en la figura 2, en donde la mas mencionada fue el *Cynodondactylon*.

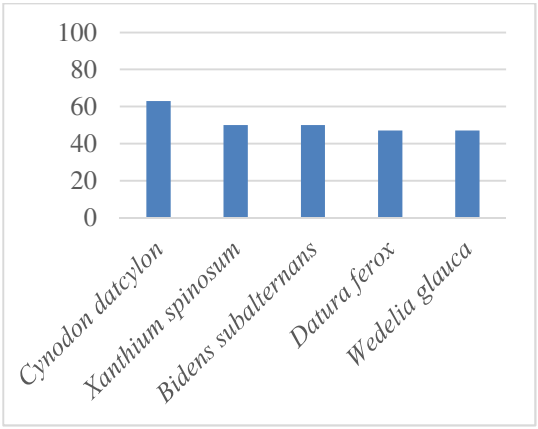


Figura 2: Especies de malezas que disminuyeron su importancia en el cultivo de algodón.

Asimismo, un 43 a 27 % de los encuestados nombraron a *Malvastrumcoromandelianum*, *Tagetes minuta*, *Trianthemaportulacastrum* y *Sida rhombifolia*como especies que disminuyeron su presencia en el cultivo.

Sobre las especies que incrementaron suimportancia en barbecho otoño – invernal (OI), mencionan 11 especies de ciclo OI, siendo las más importantes *Conyzabonaeriensis*(43%), *Lepidiumdidymus*(43%), *Sonchusoleraceus*(33%), *Descurainia argentina* (27%) *y Carduusspp.* (23%).

La figura 3, muestra el control de malezas que realizan en el periodo de barbecho, siendo el control mecánico (CM) y los cultivos de cobertura (CC) los más empleados por los productores y asesores, ambos con un 32%. El tercer método de control más utilizado fue Cultivos de inverno de cosecha (CIC), y en menor medida el combinado (químico y mecánico Q-M) y el control químico (CQ).

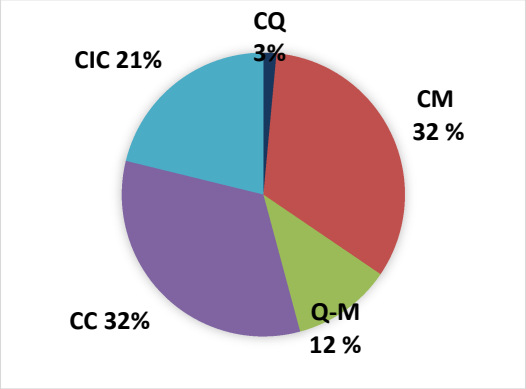


Figura 3: Métodos de control de malezas utilizados durante el barbecho otoño-invernal en el cultivo de algodón.

Los herbicidas más utilizados en ese periodo se muestran en la figura 4. Solamente el 3% de los encuestados emplean otros como MCPA, Imazaquin, Diclosulam, Clorimuron, Atrazina, Saflufenacil y Carfentrazone.

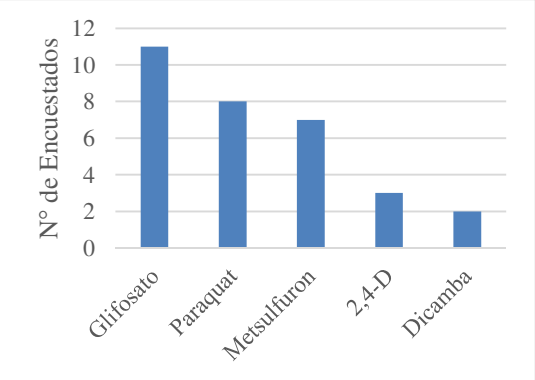


Figura 4: herbicidas utilizados durante el barbecho OI.

En el área de riego, antes de la siembra y durante el ciclo del cultivo el más empleado es el herbicida glifosato (83%), ya que las variedades sembradas son RR, seguido por S-Metolaclor y los graminícidas postemergentes selectivos Fops y Dims, Diuron, Acetoclor, Diclosulam y Pendimetalin.

Consultados sobre qué medidas serían las adecuadas para prevenir la aparición de malezas resistentes, más del 60% de los encuestadosmencionó el uso de cultivos de cobertura y la rotación de cultivos.

Entre las causas del aumento de malezas resistentes/tolerantes citaron el uso intensivo de pocos herbicidas (60%), el monocultivo y la ausencia de rotación de herbicidas (50%), uso consecutivo de cultivos resistentes a glifosato (47%), la ausencia de incentivos económicos a otras alternativas productivas (40%) y de medidas de control alternativas al control químico (23%). Un 60% manifestó conocer el manejo integrado de malezas (MIM) y un 20% desconoce del tema.

Entre las medidas del MIM, la mayoría menciono como importantes controlar las malezas durante todo el ciclo del cultivo para evitar su propagación (53%) y diseminación (50%), utilizar herbicidas de diferente modo de acción y en distintos momentos de aplicación (47%), control cultural (43%) y mecánico si fuera necesario (40%).

La figura 5 muestra que un 43% de los productores y técnicos asesores encuestados considera que un MIM implicaría menores costos que el uso principalmente de herbicidas, mientrasque un 20% expresó que los costos serían mayores.

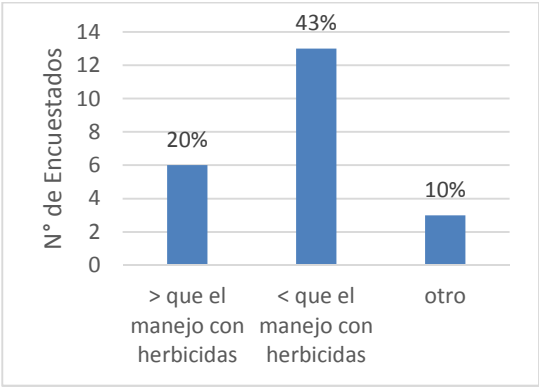


Figura 5: Costos de implementar el MIM respecto al uso principalmente de herbicidas.

Estos resultados demuestran que con el empleo de la siembra directa y el uso de variedades RR y Bt la comunidad de malezas dentrodel cultivo de algodón se modificó en la zona evaluada, siendo las malezas predominantes las denominadas de difícil control con el herbicida glifosato.

Dentro del grupo de productores y asesores que manifestaron conocer la diferencia entre malezas resistentes y tolerantes, esta situación los llevó, a implementar otras herramientas y estrategias de manejo como los cultivos de cobertura, rotación de cultivos y obligó a implementar una búsqueda de nuevas alternativas para el manejo de la aparición de malezas resistentes.

Si bien las malezas de difícil control o especies que han adquirido resistencia, propio de la presión de selección ejercida, son ya conocidas, sin embargo, de acuerdo a los datos obtenidos, es una problemática que aún queda por investigar y dar a conocer; esto implica la necesidad de acompañar a los productores, técnicos y asesores en un mayor entendimiento de una nueva problemática y cómo abordar la misma, buscando soluciones innovadoras y ensayando alternativas tanto químicas como mecánicas o culturales que reemplacen o disminuyan el uso del herbicida glifosato.

4. AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Agronomía y agroindustrias de la UNSE.

Al INTA, EEA Santiago del Estero.

Técnicos de empresas privadas por el aporte.

Productores por la predisposición y aporte a este relevamiento.

5. REFERENCIAS

Balassone, F.; Caratan, P.; Brecciaroli, P.; Consignani, M.; Yacomozzi,E.; Falcinelli, N.; Carné I.; MSc. Nisensohn, L.; Faccini, D.; Tuesca, D.Encuestas sobre malezas presentes en la zona de influencia de la Facultad de CienciasAgrarias de la UNR. Agromensajes 42, 5-17 Agosto 2015.

Kahl M., Puricelli E., Kleisinger G., Behr E. y De CarliR.Encuesta sobre factores relacionados al control de malezas en el centro-oeste de Entre Ríos.

Marzetti M., Faccini D., Nisenshon L. y D. Tuesca. 2014 Situación actual de las malezas difíciles en diferentes zonas de Argentina. Soja 2014 Malezas, p. 82-96.

Vitta, J.I.; Tuesca, D.H.; Puricelli, E.C.; Faccini, D.; Nisensohn, L.; Leguizamón, E. yFerrari, G. 2002. *Encuesta sobre malezas en cultivares de soja RR. Revista Agromensajes.Facultad de Ciencias Agrarias*. UNR. Año 3, N°7, pag.6-7.

Estabilidad y propiedades reológicas de mayonesas reducidas en grasa utilizando almidón de maíz andino como sustituto de grasa

Quinzio, Claudia[1]; Gulotta, Cecilia[1]; Collante, Andrea[1]; Iturriaga, Laura[1].

(1) *Centro de Investigación Biofísica Aplicada y Alimentos (CIBAAL, UNSE-CONICET). Universidad Nacional de Santiago de Estero, RN 9 Km 1125 Villa el Zanjón, Santiago del Estero G4206XCP, Argentina.*

cmquinzio@gmail.com

RESUMEN

Se utilizaron suspensiones de maíz amarillo gelatinizado a dos concentraciones (5 y 10%p/p) como sustituto de grasa en mayonesa reducida en grasa (MR) al 50 y 75%. Se evaluó la estabilidad de las mayonesas en el tiempo (método estático) y mediante un método acelerado (centrifugación). Se determinó la luminosidad (L*), índice de diferencia de color (E), módulos de almacenamiento y pérdida (G' y G''), índice de consistencia (k) y umbral de fluencia (τ_0). Se compararon estos parámetros con los de una mayonesa sin sustitución de grasa (MSS). No hubo efecto de la sustitución de grasa en la estabilidad evaluada mediante los métodos empleados. El valor L* de MR fue significativamente mayor que el de MSS. Todas las muestras exhibieron un comportamiento tipo gel y de adelgazamiento por cizallamiento tixotrópico. G', k, τ_0 de MR tendieron a disminuir cuando aumentó el nivel de sustitución de grasa para todas las muestras; estos parámetros en mayonesas con almidón al 10%p/p presentaron valores más altos que los de las mayonesas con almidón al 5%p/p.

Palabras claves: Mayonesa-almidón-estabilidad-propiedades reológicas.

ABSTRACT

Gelatinized yellow corn suspensions at two concentrations (5 and 10%w/w) were used as fat replacer in 50 and 75 % reduced fat mayonnaise (RM). The stability of the mayonnaises was evaluated over time (static method) and by an accelerated method (centrifugation). Luminosity (L*), color difference index (E), storage and loss modulus (G' and G''), consistency index (k) and yield stress (τ_0) were determined. These parameters were compared with those of a mayonnaise without fat substitution (MSS). There was no effect of fat substitution on the stability evaluated by the methods used. The L* value of MR was significantly higher than that of MSS. All samples exhibited gel-like and thixotropic shear thinning behavior. G', k, τ0 of MR tended to decrease as the level of fat substitution increased for all samples; these parameters in 10% w/w starch mayonnaises presented higher values than those in 5% w/w starch mayonnaises.

Key words: Mayonnaise-starch-stability-rheological properties.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad los cambios en el estilo de vida moderno y las nuevas tecnologías de procesamiento han llevado a un rápido aumento en el consumo de comidas preparadas, alimentos novedosos y desarrollo de alimentos bajos en grasa. Las salsas y aderezos juegan un papel importante en la industria alimentaria porque son productos con un alto valor agregado y de fácil manufactura (Mandala et al., 2004). Los aderezos comerciales son emulsiones de aceite en agua (o / w) que la industria alimentaria utiliza con frecuencia para mejorar el atractivo y el sabor de diferentes productos. Estos sistemas son termodinámicamente inestables, y la inestabilidad se acelera particularmente cuando el contenido de grasa se reduce por debajo del 60-65% (Drakos y Kiosseoglou, 2008; Ma et al., 2013).

Uno de los factores para la aceptación de un producto es la calidad percibida por el cliente, para

esto se debe elaborar un producto cuyas características sean agradables para el consumidor. La textura para las salsas y aderezos es un atributo muy importante. Además, se busca evitar la separación de fases, lo que se denomina sinéresis, que resulta como consecuencia de la diferencia de densidad (Badui, 2006).

La estabilidad de los aderezos se puede extender durante períodos de tiempo razonable, creando barreras cinéticas a la coalescencia de las gotas mediante la utilización de emulsionantes y espesantes/estabilizadores efectivos (Bortnowska et al., 2013; Dickinson, 2003). Por tanto, se han desarrollado numerosos hidrocoloides específicamente como sustitutos de grasa o mejoradores de características texturales; esto en consecuencia, ha dado lugar a un aumento en su demanda (Williams y Phillips, 2000). Los hidrocoloides pueden ser usados para mejorar la textura de los alimentos y su capacidad de retención de agua, incrementando su calidad total durante el almacenamiento (Rosell et al., 2001).

Los polisacáridos son buenos agentes estabilizantes debido a su hidrofilia, estructura altamente ramificada y peso molecular relativamente alto (Koocheki y Kadkhodaee, 2011). Además, su adición afecta las propiedades reológicas de las emulsiones, y el conocimiento sobre el rango de estos cambios es importante para el control de calidad, el almacenamiento, la estabilidad del procesamiento, así como para comprender y diseñar la textura (Bortnowska y Tokarczyk, 2009; Koocheki et al., 2009).

Para un sistema alimenticio que contiene carbohidratos, grasa y proteína la selección más adecuada de hidrocoloides está relacionada directamente con su capacidad emulsificante o estabilizante y del sinergismo que pueda existir entre mezclas de ellos. (Cabeza et al., 2002; Dolz et al., 2007).

Para que la formulación de una salsa o aderezo sea exitosa debemos seleccionar los hidrocoloides adecuados ya que juegan un rol fundamental en el desarrollo de la textura y estabilidad de estos productos.

El almidón es uno de los polisacáridos más abundante y ampliamente utilizado en la industria alimentaria como macroconstituyente en muchos productos, por ejemplo, salsas (Copeland et al., 2009; Steeneken et al., 2011). Se han informado anteriormente estudios fisicoquímicos sobre salsas formuladas con diferentes aceites vegetales, proteínas y polisacáridos, incluido el almidón (Mandala et al., 2004; Heyman et al., 2010; Hernandez-Carrion et al., 2011). Este polisacárido varía mucho en forma y funcionalidad entre y dentro de las especies botánicas que proporciona almidones de diversas propiedades (Copeland et al., 2009). Desde un punto de vista químico, el almidón está formado por dos polímeros de glucosa, la amilosa –lineal- y la amilopectina –ramificada-. Estos polímeros se encuentran organizados en una entidad semicristalina, el gránulo de almidón, cuya estructura se pierde cuando se somete a calentamiento en suficiente cantidad de agua, proceso conocido como gelatinización (Whistler et al, 1984). Los almidones normales contienen aproximadamente 75% en peso de amilopectina ramificada y 25% en peso de amilosa, que es lineal o ligeramente ramificado (Singh et al., 2003; Sandhu y Singh, 2007). Muchas aplicaciones alimentarias de almidones nativos pueden verse limitadas debido a la tendencia de los geles de almidón a retrogradar y a las consecuencias de la retrogradación para la calidad del producto final. Sin embargo, la mayor tendencia hacia la alimentación natural ha impulsado el uso de almidones nativos (Arocas et al., 2009). Aun cuando diversos trabajos han dado cuenta de la estructura y funcionalidad de almidones de diversos orígenes muchos aspectos analíticos de estructura primaria y de su relación con la funcionalidad, todavía permanecen sin dilucidar. El desafío actual es obtener almidones estables y resistentes a las variables de proceso (ej: temperatura y pH, fuerza y velocidad de cizallamiento, firmeza, etc.) y con beneficios nutricionales controlables. Por lo tanto, el estudio de almidones procedente de diferentes fuentes puede llevar a generar nuevo conocimiento sobre su aplicación en la industria alimentaria. La incorporación de almidones nos permite realizar aderezos reducidos en grasa sin perder o disminuir la sensación en boca, estables al calentamiento y esfuerzo mecánico, además de fáciles de procesar.

Existen diferentes variedades de maíz andino, entre los más utilizados en el NOA, se pueden mencionar por sus nombres comerciales, el Pisincho, Morocho, Capia, Harinoso, Chullpi o Dulce, Culli o Morado, Garrapatillo y Bola (Choque Vilca, 2009). Estas variedades se encuentran identificadas en el banco de germoplasma de la Argentina (INTA, 1996). Si bien las variedades mencionadas están caracterizadas estructuralmente, todavía no se han reportado estudios detallados sobre sus

propiedades fisicoquímicas y microestructurales y posibles aplicaciones en alimentos.
Por lo tanto, el objetivo de la investigación fue evaluar la influencia de la concentración de almidón de maíz amarillo andino sobre la estabilidad, propiedades reológicas y sensoriales de mayonesas bajas en grasa.

2. MATERIALES

El almidón se extrajo de granos de maíz de plantas que crecen en la zona de la Quebrada de Humahuaca y los Valles de altura, dentro de la Provincia de Jujuy, Argentina. Tanto las mazorcas como las harinas de estos maíces están disponibles en el mercado jujeño, o son ofrecidas por los productores locales.
Se utilizó en la formulación de la mayonesa yema de huevo deshidratada, aceite de maíz comercial NATURA®, sal y azúcar adquiridos a proveedores y distribuidores locales. También se empleó sorbato de potasio, ácido acético, ácido cítrico adquiridos a Sigma Aldrich.

3. METODOLOGÍA

3.1 *Extracción de almidón de maíz*

Se empleó el proceso de molienda húmeda descripta por White et al (1990), modificado por Krieger et al (1997) para la extracción de almidón. Los granos de maíz se sumergieron en solución de metabisulfito de sodio por más de 20 horas a 48–52°C. Luego el pericarpio, el germen y el endospermo se removieron a mano. El endospermo separado se colocó en un tubo de centrífuga de 50 ml con 10 ml de agua destilada y se homogenizó usando un homogeneizador (Ultra-Turrax T25, a 20.000 rpm durante 30 segundos. La suspensión homogeneizada se filtró utilizando un volumen total de agua de lavado de 500 ml. La mezcla de almidón-proteína del filtrado se separó adicionalmente por centrifugación a 5.219 g durante 30 min. Finalmente se decantó el sobrenadante, se separó la capa de proteína, y se añadió más agua (250 ml) al almidón parcialmente limpio. Se repitió tres veces la operación y el sedimento resultante se secó en estufa.

3.2 *Preparación de mayonesa*

Las fases acuosas se prepararon dispersando huevo deshidratado en agua con la adición de sorbato de potasio, ácido acético, ácido cítrico, sal y azúcar seguido de agitación a temperatura ambiente hasta completa dispersión e hidratación.
Se prepararon las pastas de almidón pregelatinizado al 5 y 10%p/p calentando a 90 °C durante 10 min las dispersiones de almidón.
Las emulsiones de aceite en agua (O/W) se elaboraron homogeneizando (20 min, 14. 000 rpm) las mezclas acuosas previamente preparadas, con el aceite comercial natura y la pasta de almidón utilizando un homogeneizador ultra Turrax T25. Se obtuvieron cuatro formulaciones sustituyendo la grasa en un 50 y 75% (50MR y 75MR) para las dos concentraciones de almidón de maíz 5%p/p y 10% p/p. Las formulaciones se denominaron 50MR(5%p/p), 75MS(5%p/p), 50MR(10% p/p) y 75MS(10%p/p). La muestra control se preparó con el mismo procedimiento sin añadir la pasta de almidón (mayonesa sin sustitución de grasa, MSS). Las formulaciones se presentan en la tabla 1.

3.3 *Test de estabilidad*

3.3.1 *Estabilidad en el tiempo*

Se colocaron las distintas formulaciones en probetas de 10 ml con tapa para evitar la evaporación. Estas se mantuvieron a temperatura ambiente durante 90 días. En el transcurso de los mismos se registró si hubo separación de fases, una superior (cremado) y una inferior (acuosa). Se midió la altura de la fase acuosa (H_a) en función de la altura de la emulsión (H_t). El índice de cremado (%IC) se calculó según Keowmaneechai y McClements,2002.

$$(\%)\mathrm{IC} = \frac{\mathrm{Ha}}{\mathrm{Ht}}\ \mathrm{x100} \qquad (1)$$

3.3.2 *Estabilidad por método acelerado*

La estabilidad de las mayonesas al cremado (C) se determinó mediante un ensayo acelerado. Se transfirieron alícuotas (aproximadamente 8,0 ml) a los tubos de ensayo de 10 ml que se sellaron herméticamente con tapas de plástico y luego se centrifugaron a 2.400 g durante 15 min, utilizando una centrífuga Hermle Z 323K. El parámetro C se obtuvo de la relación:

$$\mathrm{C}(\%) = \frac{\mathrm{Hc}}{\mathrm{Ht}}\ \mathrm{x100} \qquad (2)$$

donde: H_C, la altura de la capa cremosa y H_t, altura total de la emulsión.

3.3.3 *Estabilidad al calor*

Se evaluó mediante el método de Lee (1998.) modificado. Se transfirió 10 gr de muestra a tubos de centrífuga y se calentó en un baño termostatizado a 80 °C durante 30 minutos. Luego se centrifugó a 4.000 rpm durante 20 minutos. La estabilidad se determina registrando el peso de aceite separado luego de la centrifugación.

$$E\% = \frac{wa}{w} \text{ x100} \quad (3)$$

Donde w_a es el peso de la mayonesa después de la separación del aceite, w es el peso inicial de la muestra.

3.4 *Evaluación del color*

Se determinaron los parámetros colorimétricos Hunter Lab, L* (luminosidad), a*(eje verde rojo) y b*(eje azul amarillo) de las mayonesas obtenidas, usando un colorímetro Chroma Meter CR300. Minolta, (Japan). Se realizaron diez determinaciones por cada muestra. Para los cálculos del índice de color (E) de las diferentes formulaciones se empleó la siguiente ecuación:

$$E = \lceil (L*)^2 + (a*)^2 + (b*)^2 \rceil^{1/2} \quad (4)$$

3.5 *Determinación del perfil de textura*

El análisis del perfil de textura (TPA) se realizó de acuerdo con Bortnowska et al. (2014) utilizando una probeta cilíndrica de 20mm (ensayo de penetración, modo compresión) en un analizador de textura modelo TA-XT2 (StableMicro Systems Ltd., Surrey, Reino Unido). Se determinaron los parámetros de firmeza (kg) y consistencia (kg s).

3.6 *Determinación de las propiedades reológicas*

Las determinaciones se realizaron utilizando un reómetro de esfuerzo controlado (AR 1000, TA Instruments, NewCastle, DE, EE. UU.) Se empleo una geometría plato-plato de acero inoxidable de 40 mm de diámetro.

3.6.1 *Propiedades de flujo*

Las curvas de flujo fueron obtenidas mediante un programa de tres pasos: aumento de la velocidad de 0 s^{-1} a 300 s^{-1} durante 2 minuto, con mantenimiento de la velocidad en 300 s^{-1} durante 4 min, y finalmente disminución de la velocidad desde 300 a 0 s^{-1} en 2 minutos.
Para caracterizar el comportamiento del flujo, los datos experimentales se ajustaron al modelo de Herschel-Bulkley, que puede expresarse según la ecuación:

$$\tau = \tau_0 + k\,\dot{\gamma}^n \quad (5)$$

donde, τ (Pa) es el esfuerzo de corte, τ_0 (Pa) es el umbral de fluencia, k es el coeficiente de consistencia (Pa s^n), $\dot{\gamma}$ es la velocidad de corte (s^{-1}) y n (adimensional) es el índice de comportamiento de flujo.
Para la determinación de los parámetros se utilizó TA Instruments Advantage Software, 5.0.1, US.

3.6.2 *Propiedades viscoelásticas*

Se determinó el rango viscoelástico lineal (RVL) mediante un barrido de esfuerzo (0,1-100 Pa) a una frecuencia de 1 Hz. Posteriormente, se realizó un barrido de frecuencia entre 0.1 y 100 Hz aplicando un esfuerzo constante de 5 Pa que está dentro del RVL. Se determinaron los módulos de almacenamiento (G') y de perdida (G") y tan ∂.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 *Test de estabilidad*

Las formulaciones no presentaron desestabilización por ningún método empleado para su evaluación. La estabilidad de la emulsión generalmente implica prevenir la coalescencia de las gotas, floculación y cremado. El cremado no suele ser un problema en mayonesas que tienen un alto contenido de grasa (aproximadamente 80%) porque las gotas están tan juntas que no pueden moverse. Sin embargo, en productos con bajo contenido en grasas, el cremado se evita generalmente agregando un agente espesante o gelificantes como una goma o un almidón a la fase acuosa para ralentizar el movimiento de las gotas (McClements, 2005). Esto explicaría porque la MSS que tiene en su formulación un 80 % de grasa no se desestabilizó en el período de tiempo del ensayo. En las formulaciones reducidas en grasa el aporte del almidón a la viscosidad del sistema pudo evitar el proceso de estabilización, además no se observó sinéresis durante los primeros quince días de almacenamiento a temperatura ambiente.

4.2 *Evaluación del color*

Como se muestra en la tabla 2, la luminosidad (L*) y el índice de color (E) de las mayonesas reducidas en grasa (MR) fue significativamente más alto que el de la mayonesa sin sustitución de grasa. El brillo de la mayonesa tiene un gran impacto en la apariencia percibida del producto por los consumidores (Su, et al., 2010), esto potenciaría la aceptación de las MR por los consumidores.
El valor de b* representa la variación en el color amarillo de las muestras. Las MR presentaron valores más altos de este parámetro respecto del de MSS. Esto puede deberse a la presencia de carotenos en el almidón obtenido a partir de granos de maíz amarillo utilizado para la sustitución de grasa.

4.3 *Determinación del perfil de textura*

Los valoras de los parámetros firmeza y consistencia se presentan en la tabla 3. La firmeza y consistencia de las MR al 50 y 75% elaboradas con almidón pregelatinizado al 5%p/p no presentaron diferencias significativas entre ellas ni con la mayonesa sin sustituir. La mayonesa elaborada con almidón pregelatinizado al 10%p/p para los dos porcentajes de sustitución presentaron valores significativamente más altos de firmeza y consistencia. El empleo de almidón gelatinizado al 10%p/p como sustituto de grasa dio como resultado que todo el sistema se espese en comparación a las muestras con almidón pregelatinizado al 5%p/p y MSS.

4.4 *Determinación de las propiedades reológicas*

Los parámetros reológicos de las MR y MSS obtenidos mediante el modelo de Herschel-Bulkley se presentan en la Tabla 4.
Todas las muestras exhibieron un comportamiento de adelgazamiento tixotrópico por cizallamiento (Fig.1 y 2). Las propiedades de flujo dependen tanto de la velocidad de corte como del tiempo de aplicación del cizallamiento (Stern et al., 2001). El índice de consistencia (k) y el umbral de fluencia (τ_0) de las MR tendieron a disminuir cuando aumentó el nivel de sustitución de grasa.
Estos parámetros en mayonesas en donde se utilizó almidón pregelatinizado al 10% p/p presentaron valores más altos que los de las mayonesas con almidón pregelatinizado al 5% p/p. La mayonesa sin sustitución de grasa presento valores significativamente más altos de estos parámetros. MSS podría tener gotas más pequeñas por lo tanto resiste mejor a la aplicación del esfuerzo durante el ensayo de flujo, lo que resulto en un mayor índice de consistencia (Liu, 2007).
Las mayonesas 50 MR (10%p/p) y 75MR (10%p/p) presentaron bucles tixotrópicos más altos incluso mayores al que presentó MSS. Esto implica que la estructura de esas mayonesas fue más fácil de romper y más difícil de volver a su estructura original respecto de las muestras MR 50 y 75 (5%p/p) (Worrasinchai et al., 2006). Esto podría deberse a que hubo más interacción hidrofóbica y formación de red tipo gel en 50 y 75MR (10%p/p) respectivamente, que en 50 y 75 MR (5%p/p) (Liu, 2007).
Las Fig. 3 y 4 presentan los espectros mecánicos de la mayonesa sin sustitución de grasa y de las distintas formulaciones reducidas en grasa. Los módulos (G´) y (G") muestran dependencia con la frecuencia, comportamiento característico de sistemas viscoelásticos (Jiménez-Colmenero et al., 2012, Jiménez-Colmenero et al., 2012). Todas las muestras exhibieron un comportamiento tipo gel con G' mayor que G" en todo el rango de frecuencia estudiado. Esto podría atribuirse a la estructura de red interconectada de las proteínas de la yema de huevo que podrían inducir a la reorganización de las partículas de grasa para formar esas redes (Kiosseoglou, y Sherman, 1983). El módulo elástico (G') refleja las características sólidas de las muestras. En general, los sistemas con mayor contenido en grasa tienen los valores más altos de G' (Ma & Barbosa-Cánovas,1995).
En la tabla 5 se presentan los valores de G' y G", se observa que MSS presento valores significativamente más altos de estos parámetros respecto de las MR. Los valores G' y G", de las MR tendieron a disminuir cuando aumentó el nivel de sustitución de grasa. Es decir, las MR tienen menos consistencia respecto de MSS. Estos parámetros en las mayonesas donde se utilizó almidón pregelatinizado al 10% p/p presentaron valores más altos que los de las mayonesas con almidón pregelatinizado al 5% p/p.
Sin embargo, los valores de G' de 50MR (10%p/p) y 75MR (10%p/p) son del mismo orden de magnitud que las de MSS y presentaron valores de tan **δ** (tabla 5) similares a MSS y del orden de 0,1 correspondientes a geles débiles. La alta concentración de pasta de almidón que reemplaza la grasa en la formulación fortalecería la estructura de gel manteniendo este comportamiento típico de las mayonesas en las formulaciones baja en grasa.

Estos resultados concuerdan con estudios anteriores (Liu et al., 2007), en los que la sustitución de la grasa por polisacáridos en la formulación refuerza la estructura de gel de la mayonesa.

4. CONCLUSIONES

A partir de los resultados, se puede concluir que el almidón de maíz amarillo podría usarse como sustituto de grasa en mayonesas. La sustitución de grasa por pasta de almidón no afectó la estabilidad del sistema. El color amarillo y luminosidad característico de las mayonesas mejoró en las mayonesas con sustitución de grasa con pasta de almidón amarillo gelatinizado. Los valores de los parámetros firmeza y consistencia de la MR al 50 y 75% elaborada con almidón gelatinizado al 5%p/p no presentaron diferencias con la mayonesa sin sustituir.

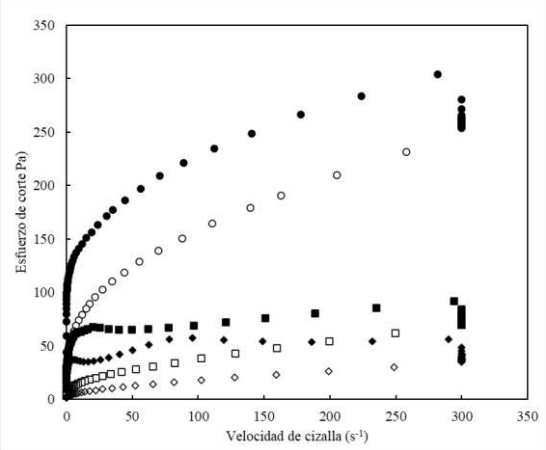


Figura 1. Curvas de flujo de (●) MSS, (■) 50MR (5%p/p), (♦) 75MR (5%p/p). Los símbolos llenos representan la curva ascendente y los símbolos vacíos representan la curva descendente.

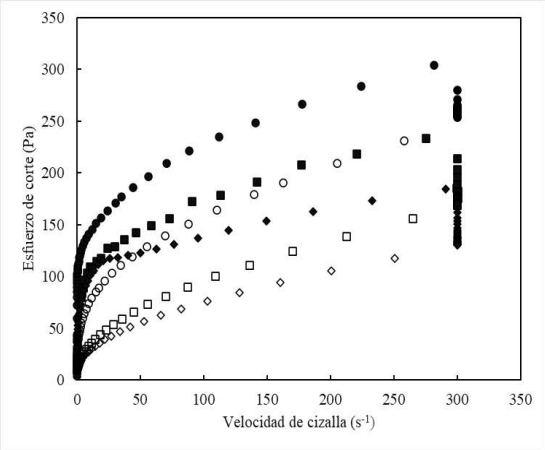


Figura 2. Curvas de flujo de (●) MSS, (■) 50MR (10%p/p), (♦) 75MR (10%p/p). Los símbolos llenos representan la curva ascendente y los símbolos vacíos presentan la curva descendente

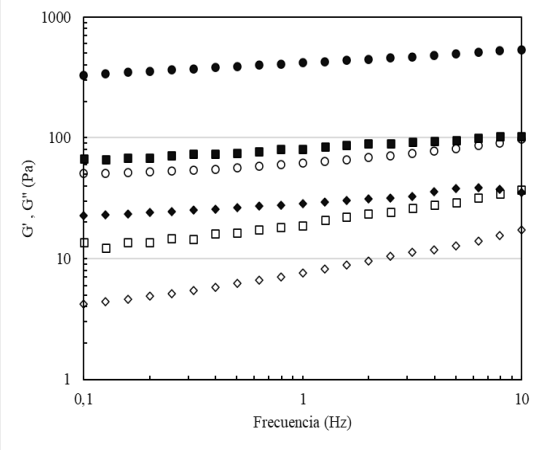


Figura 3: Reogramas de frecuencia de (●) MSS, (■) 50MR (5%p/p), (♦) 75MR (5%p/p). Los símbolos llenos representan los G´ y los símbolos vacíos los G¨.

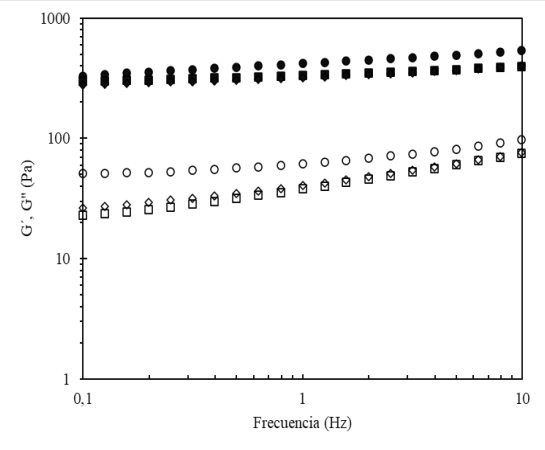


Figura 4: Reogramas de frecuencia de (●) MSS, (■) 50MR (10%p/p), (♦) 75MR (10%p/p). Los símbolos llenos representan los G´ y los símbolos vacíos los G¨.

Tabla 1. Formulaciones en base a 150 g

Ingredientes (g)	**MSS[1]**	**50MR[2]**	**75MS[3]**
Aceite	120	60	30
Vinagre	13,5	13,5	13,5
Huevo en polvo hidratado	12	12	12
Azúcar	2	2	2
Sal	2	2	2
Ácido cítrico	0,3	0,3	0,3
Sorbato de K	0,2	0,2	0,2
Almidón pregelatinizado (5%p/p, 10%p/p)	0	60	90

[1] Mayonesa sin sustitución de grasa, [2] Mayonesa con sustitución de grasa en un 50%, [3] Mayonesa con sustitución de grasa en un 75%.

Tabla2. Parámetros colorimétricos Hunter Lab.

Muestra	L*	a*	b*	E
MSS	68,53±1,03^{a}	-1,28±0,19^{a}	1,40±0,51^{a}	68,55±1,03^{a}
50MR(5%p/p)	79,83±1,44^{b}	-0,93±0,13^{b}	3,27±0,49^{b}	79,90±1,45^{b}
75MR(M(5%p/p)	79,96±1,15^{b}	-0,99±0,11^{b}	3,30±0,70^{b}	80,03±1,05^{b}
50MR (10%p/p)	76,94±0,94^{c}	-1,68±0,21^{c}	3,59±0,73^{b}	77,02±0,72^{c}
75MR(10%p/p)	80,02±2,99^{b}	-1,08±0,20^{b}	4,60±1,31^{c}	80,50±2,45^{b}

Valores con la misma letra en la misma columna no presentan diferencias significativas. La prueba de diferencias de medias para un nivel de significancia $\alpha < 0,05$ se realizó mediante el test de Tukey.

Tabla 3. Parámetros texturales

Muestra	Firmeza (kg)	Consistencia (kg.s)
MSS	0,02±0,002[a]	0,16±0,01[a]
50MR(5%p/p)	0,02±0,003[a]	0,17±0,02[a]
75MR(M(5%p/p)	0,020±0,004[a]	0,16±0,03[a]
50MR (10%p/p)	0,05±0,01[b]	0,33±0,04[b]
75MR(10%p/p)	0,06±0,01[b]	0,36±0,10[b]

Valores con la misma letra en la misma columna no presentan diferencias significativas. La prueba de diferencias de medias para un nivel de significancia $\alpha < 0,05$ se realizó mediante el test de Tukey.

Tabla 4. Parámetros reológicos obtenidos mediante el ajuste con el modelo de Herschel-Bulkley

Muestra	k (Pa.s)	τ_0 (Pa)	n	Tixotropía
MSS	22,02±1,82[a]	12,65±3,68[a]	0,40±0,01[a]	20516,00±3541,64[a]
50MR(5%p/p)	2,62±0,77[b]	3,58±0,44[b]	0,55±0,03[b]	8981,33±2713,02[b]
75MR(M(5%p/p)	0,86±0,06[b]	1,89±0,74[b]	0,6254±0,01[c]	7799,50±3084,90[b]
50MR (10%p/p)	8,31±1,46[c]	9,59±3,22[a]	0,52±0,01[b]	26016,67±2589,29[a]
75MR (10%p/p)	5,33±0,75[c]	8,26±1,02[a]	0,54±0,01[b]	21914,00±2281,61[a]

Valores con la misma letra en la misma columna no presentan diferencias significativas. La prueba de diferencias de medias para un nivel de significancia $\alpha < 0,05$ se realizó mediante el test de Tukey.

Tabla 5. Módulos de almacenamientos y de pérdidas tomados a una frecuencia de 1Hz.

Muestra	G' (Pa)	G¨ (Pa)	**δ**
MSS	419,50±2,26[a]	61,78±0,16[a]	0,15±0,00[a]
50MR(5%p/p)	75,57±6,12[b]	18,30±0,63[b]	0,24±0,01[b]
75MR(M(5%p/p)	32,60±5,62[b]	8,03±0,59[c]	0,25±0,03[b]
50MR (10%p/p)	332,08±3,45[c]	40,16±2,14[d]	0,12±0,01[a]
75MR (10%p/p)	288,06±28,84[c]	38,97±3,35[d]	0,14±0,01[a]

Valores con la misma letra en la misma columna no presentan diferencias significativas. La prueba de diferencias de medias para un nivel de significancia $\alpha < 0,05$ se realizó mediante el test de Tukey.

5.REFERENCIAS

Arocas, A.., Sanz, T. y Fiszman, S.M. (2009). Improving effect of xanthan and locust bean gums on the freeze-thaw stability of white sauces made with different native starches. *Food Hydrocolloids*, 23, 2478–2484.

Badui S. (2006) *Quimica de los Alimentos*. Pearson Educación. México.

Bortnowska, G. y Tokarczyk, G. (2009). Comparison of the physical and sensory properties of model low-fat mayonnaises depending on emulsifier type and xanthan gum concentration. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, 12, 11-15

Bortnowska, G., Balejko, J., Tokarczyk, G., Romanowska-Osuch, A., y Krzeminska,N. (2014). Effects of pregelatinized waxy maize starch on the physicochemical properties and

stability of model low-fat oil-in-water food emulsions. *Food Hydrocolloids*, 36, 229–237.

Bortnowska, G., Krzeminska, N., y Mojka, K. (2013). Effects of waxy maize and potato starches on the stability and physicochemical properties of model sauces pre-pared with fresh beef meat. *International Journal of Food Science and Technology*, 48, 2668–2675.

Cabeza, C., (2002) Addition of gellan gum on the rheology of low-calorie mayonnaise stabilized with modified starch. *Progress in rheology. theory and applications*. 477–480.

Copeland, L., Blazek, J., Salman, H., y Tang, M. C. (2009). Form and functionality of starch. *Food Hydrocolloids*, 23, 1527–1534.

Dickinson, E. (2003). Hydrocolloids at interfaces and the influence on the properties of dispersed systems. *Food Hydrocolloids*, 17, 25–39.

Dolz, M., Hernàndez, M., Delegido, J., Alfaro, M., y Mun, J. (2007). Influence of Xanthan gum and locust bean gum upon flow and thixotropic behaviour of food emulsions containing modified starch. *Journal of Foof Engineering*, 81, 179-186.

Drakos, A., y Kiosseoglou, V. (2008). Depletion flocculation effects in egg-based model salad dressing emulsions. *Food Hydrocolloids*, 22, 218–224.

Hernandez-Carrion, M., Guardeno, L.M., Carot, J.M., Perez-Munuera,I., Quiles, A. y Hernando, I. (2011). Structural stability of white sauces prepared with different types of fats and thawed in microwave oven. *Journal of Food Engineering*, 104, 557–564.

Heyman B., Depupere F., Delbaere C., y Dewettink K. (2010). Effect of non-starch hydrocolloids on the physicochemical propertiesand stability of a commercial bechamel sauce. *Journal of Food Engineering* 99:115:120.

Jiménez-Colmenero, F., Cofrades, S., Herrero, A., Fernández-Martín, F., RodríguezSalas, L., y Ruiz-Capillas, C.(2012). Konjac gel fat analogue for use in meat products: comparison with pork fats. *Food Hydrocolloids*, 26(1), 63e72.

Jimenez-Colmenero, F., Cofrades, S., Herrero, A., Solas, M., y Ruiz-Capillas, C. (2012). Konjac gel for use as potential fat analogue for healthier meat product development: effect of chilled and frozen storage. *Food Hydrocolloids*, 30(1), 351e357.

Keowmaneechai, E., & McClements, D. J.(2002). Influence of EDTA and citrate on physicochemical properties of whey protein-stabilized oil-in-water emulsions containing CaCl2. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(24), 7145–7153.

Kiosseoglou, V. D. y Sherman, P. (1983). Influence of egg yolk lipoproteins on the rheology and stability of O/W emulsions and mayonnaise. *Journal of Texture Studies*, 14: 397-417.

Koocheki, A. y Kadkhodaee, R. (2011). Effect of Alyssum homolocarpum seed gum, Tween 80 and NaCl on droplets characteristics, flow properties and physical stability of ultrasonically prepared corn oil-in-water emulsions. *Food Hydrocolloids*, 25, 1149–1157.

Koocheki, A., Ghandi, A., Razavi, S.M.A., Mortazavi, S.A. y Vasiljevic, T. (2009). The rheological properties of ketchup as a function of different hydrocolloids and temperature. International Journal of *Food Science and Technology*, 44, 596–602.

Krieger, K.M. Duvick, S.A., Pollak, L.M., y White P.J. (1997). Thermal properties of corn starch extracted with different blending methods: Microblender and homogenizer. *Cereal chemistry*. 74(5):553–555.

Lee, Y.Y. (1998). Effect of emulsifiers and satabilizers on the emulsion stability of mayonnaise, *Journal Korean Society of Food and Nutrition* 27: 115-120.

Lui, H.., Xu, X.M. y Guo, S.D. (2007). Propiedades reológicas, texturales y sensoriales de mayonesa baja en grasa con diferentes miméticos de grasa. *Tecnología de la ciencia de los alimentos*. 2007; 40: 946-954.

Ma, L., y Barbosa-Cánovas, G. (1995). Rheological characterization of mayonnaise. part II: flow and viscoelastic properties at different oil and xanthan gum concentrations. *Journal of Food Engineering*, 25(3), 409e425.

Ma, Z., Boye, J. I., Forti.n, J., Simpson, B. K., y Prasher, S. O. (2013). Rheological,physical stability, microstructural and sensory properties of salad dressings supplemented with raw and thermally treated lentil flours. *Journal of Food Engineering*, 116, 862–872.

Mandala, I.G., Savvas, T.P. y Kostaropoulos, A.E. (2004). Xanthan and locust bean gum influence on the rheology and structure of a white model-

sauce *Journal of Food Engineering* 64(3):335-342.

McClements, D.J. (2005) *Food Emulsion: principle, practice and techniques*. 2ª ed. Boca Rota: Prensa CRC. EE.UU.

Rosell, I. C. Rojas, J.A y Benedito de Barber, C.(2001). Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. *Food Hydrocolloids* 15, (1), 75-81.

Sandhu, K.S. & Singh, N. (2007). Some properties of corn starches II: physicochemical gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties. *Food Chemistry*, 101, 1499–1507.

Singh, N., Singh, J., Kaur, L., Sodhi, N. S., y Gill, B. S. (2003). Morphological, thermaland rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry*, 81, 219–231.

Steeneken, P.A.M., Woortman, A.J.J. y Oudhuis, A.A.C.M. (2011). Processing stability of cross-linked starches in acid sauce applications and identification of some of the molecular factors involved. *Food Hydrocolloids*, 25, 410–418.

Stern, P., Valentová, H., y Pokorný, J. (2001). Rheological properties and sensory texture of mayonnaise. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 103(1), 23e28.

Su, H.P., Lien, C.P., Lee, T. A y Ho, J.H. (2010). Development of low fat mayonnaise containing polysaccharide gums as functional ingredients, *Journal of the Science Food Agriculture*. 90(5) 806-812

Whistler R.L., BeMiller J.N. y Paschall E.F. (1984). *Starch: Chemistry and Technology*. Second Edition. Academic Press Inc. Orlando.

White P F. F. Yamin, F.F, Lee, M. y Pollak, L.M. (1990). Thermal Properties of Starch in Corn Variants Isolated after Chemical Mutagenesis of Inbred Line B73.

Williams, P. y Phillips, G. (2000). *Handbook of Hydrocolloids.* Woodhead Publishing. Cambridge University Press.

Worrasinchai, S., Suphantharika, M., Pinjai, S. y Jamong, P. -Glucan preparado a partir de levadura de cerveza gastada como sustituto de grasa en mayonesa. *Hidrocoloides alimentarios* 2006; 20: 68-78

Análisis del perfil fisicoquímico y contenido de minerales de mieles artesanales de Jujuy

Rios, Francisco [1,2]; Miranda, Rita[2]; Lobo, Manuel[1,2]; Samman, Norma[1,2]

(1) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy
(2) Centro Interdisciplinario de Investigaciones en Tecnologías y Desarrollo social para el NOA- CONICET
frios8078@gmail.com

RESUMEN

En este trabajo, el perfil de los parámetros fisicoquímicos y minerales de mieles artesanales fueron caracterizados, validando los métodos analíticos para garantizar la confiabilidad en los resultados.
Las mieles provenientes de las Yungas de Jujuy, resultaron multiflorales, con presencia predominante de polen nativos de la región. Los datos fisicoquímicos mostraron alta calidad, un adecuado grado de madurez y frescura de las mieles. El K fue el mineral más abundante, determinando en el rango de 440,3 a 1824,0 mg/kg de miel. De los microelementos, el Mn se presentó en mayor proporción, mientras que los minerales tóxicos no fueron detectados en la mayoría de las mieles analizadas.
En el análisis de componentes principales, los primeros 4 factores explican 84,5 % de la variabilidad total de los datos. El contenido de minerales (K y Mg) tuvieron mayor importancia que los parámetros fisicoquímicos. También, el análisis de Hierarchical cluster mostró una clara tendencia a clasificar adecuadamente las mieles utilizando el contenido de minerales como variables.
Los resultados obtenidos podrían ser aplicados como aporte a la calidad y diferenciación de mieles artesanales de Jujuy- Argentina.

ABSTRACT

In this work, the physicochemical and mineral profile of artisan honeys were characterized, validating the analytical methods to guarantee the reliability of the results.
The honeys from the Yungas of Jujuy were multifloral, with a predominant presence of pollen native to the region. Physicochemical data showed high quality, an adequate degree of maturity and freshnes of samples. The K was the most abundant mineral, ranging from of 440,3 to 1824,0 mg/kg of honey.
Of the microelements, Mn was present in a higher proportion, while the toxic minerals were not detected in most of the honeys analyzed.
In principal component analysis (PCA), the first four factors explain 84,5% of the variability of the data. The minerals content (K and Mg) had higher importance than the physicochemical parameters. The PCA allow to associate the honeys to their geographical origin. Also, the Hierarchical cluster analysis showed a clear trend to successfully classify the honey using the mineral content as variables.
The results obtained could be applied as a contribution to the quality and differentiation of artisan honeys from Jujuy-Argentina.

Palabras claves: Miel – minerales - parámetros fisicoquímicos - Jujuy.

Keywords: Honey- minerals- physicochemical parameters – Jujuy.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años la forma de consumir los alimentos fue cambiando de alimentos frescos (sin procesar o poco procesados) a productos procesados y ultraprocesados. A nivel mundial existen una discusión sobre los lineamientos y estrategias posibles para abordar el problema de los alimentos ultraprocesados con exceso en grasas, azúcares y sal (OPS, 2023).

El etiquetado frontal es una herramienta sencilla y efectiva para informar a la población sobre los productos procesados con contenido en exceso de nutrientes críticos que pueden dañar la salud (OPS, 2023). En Argentina, actualmente está vigente la ley de promoción de alimentación saludable, que es una guía para las decisiones de compra del consumidor de alimentos procesados (Ley 27.642). Entre los nutrientes críticos, se encuentran los azúcares que se emplean ampliamente por sus propiedades sensoriales, tecnológicas y nutricionales (Grembecka, 2015).

En este sentido hay un incremento en el consumo alimentos naturales con beneficios a la salud (Al-Hariri, 2018). Los endulzantes naturales son generalmente reconocidos como seguros. La miel es un endulzante natural elaborado por las abejas a partir de néctar de flores y secreciones de partes vivas de las plantas (Cengiz, 2018; Codex Alimentarius, 2019). Su consumo y demanda se incrementaron en los últimos años (Cavaco et al., 2016; Siddiqui et al., 2017).

Los principales componentes de las mieles son los azúcares: glucosa y fructosa. Otros componentes minoritarios como ácidos orgánicos, proteínas, enzimas, antioxidantes, minerales, vitaminas son encontrados en la composición de las mieles (Cavaco et al., 2013; Solayman et al., 2016; Afrin et al., 2020).

Para definir la calidad y la composición de las mieles se han empleado, el contenido de polen, los parámetros fisicoquímicos juntos a otras variables como los minerales (Alves et al., 2013; Conti et al., 2014; Manzanares et al., 2014; Rios et al., 2014; Bettar et al., 2015; Nayik et al., 2015; Petretto et al., 2015; Karabagias et al., 2017).

El contenido de minerales de las mieles contribuye a su control de calidad, aunque existen factores antropogénicos que pueden alterar su contenido (Di Bella et al., 2015; Solayman et al., 2016). Sin embargo, el contenido de minerales de las mieles no se encuentra establecido como parámetro de calidad en las reglamentaciones nacional e internacional (Codex Alimentarius, 2019).

De acuerdo a los requerimientos (R) nutricionales los minerales se dividen en diferentes grupos. Los macroelementos (R >100 mg / día): Na, K, Ca, Mg, P y Cl; microelementos (R < 100 mg/día): Fe, Cr, F, Zn, Mo, I, Cu, Mn, Se; elementos trazas (µg o ηg): Ni, Va, B, Sn, Li, Si, Co; y elementos tóxicos: As, Pb y Cd (Damodaran y Fennema, 2010). Desde el punto de vista toxicológico la International Agency For Research on Cancer (IARC) clasifica al Cd y As en el Grupo 1 “cancerígenos para humanos”, mientras el Pb se encuentra en el grupo 2 “probablemente cancerígenos para humanos (IARC, 2012).

En adición, a la significancia nutricional de los minerales, dada la relación entre el material recolectado por las abejas de las plantas por las abejas, el perfil de minerales es usado como indicador de origen botánico y geográfico de las mieles (Batista et al., 2012; Di Bella et al., 2015).

Los parámetros fisicoquímicos juntos o separados del perfil de minerales y en combinación con los métodos multivariados han sido usados para caracterizar y distinguir su origen botánico y geográfico (Conti et al., 2014; Manzanares et al., 2014; Rios et al., 2014; Bettar et al., 2015; Nayik y Nanda, 2015; Karabagias et al., 2017; Hempattarasuwan et al., 2019). Además, la composición de los alimentos analizados bajo control de calidad puede ser usado en las tablas de composición de alimentos (Coelho, 2019).

A pesar de que Argentina es uno de los principales exportadores de miel y es reconocido internacionalmente por la alta calidad de sus mieles, actualmente, en su base de datos de composición de alimentos no se encuentra la información nutricional de las mieles (Conti et al., 2014; Patrignani et al., 2015). En Argentina la producción apícola está presente en 22 provincias, entre ellas, la de Jujuy, lo que genera un impacto positivo en las economías regionales. Debido a que la miel es un endulzante natural, materia prima o ingrediente de otros alimentos, es importante la generación de datos para conocer y disponer al público en general de la composición de las mieles. Los datos para la inclusión en las bases de datos deben cumplir determinados parámetros de calidad ya que son empleados para la elección y educación del consumidor.

El objetivo del trabajo fue determinar el perfil fisicoquímico y minerales en mieles artesanales de Jujuy, promoviendo el control de calidad en

los procedimientos para generar datos de composición confiables y utilizables en las bases de datos de composición de los alimentos. Además, se realizó la comparación de las mieles según su origen geográfico usando los parámetros fisicoquímicos en conjunto con el contenido de minerales de las mieles.

2 MATERIALES Y METODOS

2.1 Muestreo

La provincia de Jujuy tiene 5 micro-zonas o regiones con aptitud apícola. En una primera etapa se recogieron muestras (N=11), de región de las Yungas, que es la de mayor producción apícola de la provincia de Jujuy-Argentina.
En otra etapa, se analizaron muestras de origen floral de Portugal (n=9) para comparar y explorar el perfil de minerales de las mieles como parámetros discriminantes del origen geográfico.
Las muestras de mieles (*Apis mellifera*) fueron recogidas de los apiarios con predisposición por parte de los apicultores en participar del estudio, en los meses de mayor producción apícola (noviembre-enero).
Se siguió un muestreo estratificado considerando los apiarios como unidades de muestreo. En cada extracto, se tomaron dos muestras compuestas (de las cuales una fue conservada) de los tanques de decantación a granel que pertenecen a un mismo apiario, siguiendo las normas de muestreo de Codex Alimentarius.
Todas las muestras fueron trasladas al laboratorio en condiciones adecuadas de refrigeración, tapadas herméticamente y protegidas de la luz y almacenadas hasta su análisis.

2.2 Análisis fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos analizados fueron: contenido de humedad, contenido de solidos solubles (°Brix), acidez libre, contenido de cenizas, actividad de agua (a_w) y pH. Los análisis se realizaron por triplicado siguiendo las normas internacionales AOAC (2005).

2.3 Análisis de minerales

El contenido de minerales fue determinado en un equipo de Espectrometría de emisión óptica de plasma de acoplamiento inductivo, ICP-OES, (Thermo Scientific™ iCAP 6000, Cambridge, UK), usados para determinar Cu, Mn, Fe, Zn, Mg, Ca, P, Na y K.
También un equipo de Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente, ICP -MS (Thermo X series II) fue empleado para la determinación de los siguientes elementos: Ni, Mo, Sr, V, Li, Co, Se; Cr; Mn; Cu; Zn; As; Cd; Pb.

2.4 Análisis estadístico

Los parámetros fisicoquímicos y el contenido de minerales fueron mostrados como media ± desviación estándar. En primer lugar, el conjunto de datos de cada variable fue evaluado con el test de normalidad para determinar su distribución. Los test de ANOVA y Kruskal-Wallis fueron aplicados de acuerdo a la distribución que siguen los datos, normal o no-normal, respectivamente. El test de Spearman, un test no-paramétrico, fue aplicado al conjunto de datos para determinar la correlación entre las variables cuantitativas.
Los métodos multivariados no supervisados como el análisis de componentes principales (ACP) y el análisis hierarchical cluster (HCA) fueron empelados como métodos exploratorios.
El XLSTAT software (Copyright© Addinsoft 2019) fue usado para el análisis estadístico de los datos.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Control de calidad analítico

El control de calidad analítico permite garantizar la fiabilidad de los datos obtenidos del análisis de las mieles. Los límites de cuantificación (LC) y detección (LD) de los minerales se muestran en la Tabla 1. La recuperación de los métodos varía en el rango de 82,0 % para Cd a 105,5 % para Fe.
A pesar de que existe una amplia bibliografía de datos de mieles de Argentina, su composición no se encuentra informada en las tablas de datos de alimentos. La falta de control de calidad de los datos es uno de los principales factores de que una gran cantidad bibliografía con datos de composición no se incluyan en las tablas de composición de alimentos de Argentina.

3.2 Análisis melisopalinológicos

Los resultados del análisis melisopalinológicos determinaron que las mieles son multiflorales, prevaleciendo la flora nativa de la región como polen predominante. También se determinaron mieles multiflorales de *Eucaliptos* sp. lo que

denota la presencia de flora antropogénica en la región. La presencia de flora antropogénica en las mieles indicaría que la actividad apícola es complementaria a otras actividades agrarias en las regiones apícolas

3.3 Parámetros fisicoquímicos

La Tabla 2 muestra los valores medio ± desviación estándar (DE) y otros estadísticos de los parámetros fisicoquímicos de las mieles.

Los rangos de variación de todos los parámetros analizados están dentro de lo correspondiente a mieles de origen floral (Solayman et al*.,* 2016; Siddiqui et al*.,* 2017).

El contenido de humedad <20% y los °Brix (solidos solubles) >78% están dentro de los límites establecidos internacionalmente para mieles florales (Codex alimentarius, 2019). Los resultados sugieren un adecuado grado de madurez de las muestras. La acidez libre de las muestras <40 meq/kg, es consistente con la ausencia de fermentación. Otro parámetro relacionado con la estabilidad de las mieles es su pH ácido. El rango de pH obtenido varia de 3,61 a 4,45, valores similares a los obtenidos, fueron reportados por otros autores (Aazza et al., 2013; Conti et al., 2014; Rios et al., 2014).

Los resultados obtenidos están en concordancia con lo informado para mieles en las tablas de composición de alimentos de diferentes regiones geográficas (Codex Alimentarius, 2019). Todos los parámetros fisicoquímicos revelan la alta calidad de las mieles artesanales de Jujuy.

Las variables analizadas excepto la acidez libre y el contenido de cenizas, presentaron bajos coeficiente de variación (CV) <10%. Sin embargo, el estadístico *F* muestra que existen diferencias altamente significativas (p<0,01) entre las muestras en todos los parámetros fisicoquímicos. Aunque las mieles fueron recolectadas de una misma región geográfica, los resultados revelan que la heterogeneidad estaría relacionada a sus diferentes orígenes botánicos.

3.4 Minerales

De los 20 elementos analizados, el Li y Mo, no se pudieron determinar en las muestras por encontrarse por debajo LD y no fueron incluidos en la Tabla 3.

De los macroelementos el Na es un mineral presente en muchos alimentos de forma natural, se encontró por debajo del límite de cuantificación en todas las muestras (41,67 mg/kg). No obstante, otros autores informan valores menores a 41,67 mg/kg en mieles de flores (Downey et al., 2005; Vanhanen et al., 2011).

El K fue el elemento más abundante encontrado en las mieles, determinado en el rango de 440,3 a 1824,0 mg/kg. La presencia de K como elemento predominante es característico de mieles de origen floral (Conti et al., 2014; Bettar et al., 2015).

Los resultados de los macroelementos son comparables a lo informado en mieles comerciales y artesanales de origen floral de diferentes regiones (Aazza et al., 2013; Conti et al., 2014; Bettar et al., 2015; Solayman et al., 2016; Karabagias et al., 2017).

Tabla 1. Aseguramiento de la calidad analítica

Mineral	**Unidad**	**Método**	**LD**	**LQ**	**Recuperación (%)**
Fe	mg/kg	ICP-OES	0,007	0,05	105,5±2,7
Mg			0,116	0,4	98,9±5,3
Ca			0,055	0,2	98,0±4,7
P			0,130	0,4	102,4±4,9
Na			0,159	1	98,7±4,5
K			0,245	1	93,7±3,3
Cu	µg/kg	ICP-MS	0,006	0,02	89,9±4,2
Zn			0,006	0,05	96,9±3,1
Mn			0,003	0,01	97,6±3,5
Sr					101,3±0,5
Ni					86,44±3,91
Se					86,7±1,9
V					97,2±2,1
Cr					99,0±1,0
Co					90,5±3,6
Pb					97,1±3,3
Cd					82,0±0,2
As					84,0±3,4

LD: límite de detección; LQ: límite de cuantificación

En la Tabla 3 se muestra el contenido de microelementos determinados por ICP-MS,

también conocidos como oligoelementos. Los microelementos Se y Fe se encontraron en las muestras analizadas por debajo del límite de cuantificación. El Mn es el microelemento que se encuentran en mayor concentración en las mieles, en el rango de 446,30 – 1210,82 µg/kg. Algunos autores informan valores de Mn mayor a los de Zn (Bogdanov et al., 2007; Pohl et al., 2012), mientras otros indican el caso contrario (Bibi et al., 2008; Baroni et al., 2009). Las concentraciones de Cr y Cu son similares a los encontrados en mieles de Suiza, España y Nueva Zelanda (Bogdanov et al., 2007; Nalda et al., 2005; Vanhanen et al., 2011). Sin embargo, los valores de Cr son mayores a los informados en mieles de Polonia y Turquía (Madejczyk y Baralkiewicz, 2008; Tuzen et al., 2007), aunque Terrab et al. (2004) presentan cantidades superiores de Cu.

El Ni y Sr son elementos trazas analizados con mayor frecuencia en las mieles, los valores encontrados están en el rango informado por otros autores (Vanhanen et al., 2011; Chudzinska y Baralkiewicz, 2010; Tuzen et al., 2007; Nalda et al., 2005; Terrab et al., 2004).

Desde el punto de vista nutricional, la esencialidad o toxicidad, los elementos ultratrazas se encuentran en estudio y en constante revisión. Se informan ingestas máximas tolerables de Ni (niños > 1 año) y V (adultos), mientras para As no se estableció valores de referencia (NRD, 2023).

El As se encuentra por debajo del límite de cuantificación del método en las mieles, aunque existen trabajos que informan valores mayores y similares al límite de cuantificación del método (Terrab et al., 2004; Vanhanen et al., 2011).

No hay límites máximos establecidos en las normas de miel para los metales pesados (CAA, 2019). Los minerales como Pb y Cd pueden ser utilizados como indicadores de contaminación ambiental. Los valores de Pb son comparables a los encontrados en mieles de Suiza, Turquía y España (Bogdanov et al., 2007; Tuzen et al., 2007; Terrab et al., 2004). Aunque en mieles de Polonia se encontraron valores mayores a los determinados en este trabajo (Chudzinska y Baralkiewicz, 2010). Los resultados muestran que el consumo de las mieles no implicaría riesgo para los consumidores. Por lo que las regiones apícolas de donde se recogieron las mieles se encentrarían libre de contaminantes pesados.

Contrariamente, a los parámetros fisicoquímicos, el CV de los minerales es mayor a 10%, lo que muestra que la mayor heterogeneidad estaría asociada a sus orígenes botánicos. Esto explica porque los minerales son usados como indicador de origen botánico y geográfico de las mieles.

Se encontró que los microelementos Zn, Cr, Ni y V no siguen una distribución normal. El test no paramétrico de Kruskal-Wallis, permitió determinar que existen diferencias significativas ($p<0.05$) entre las muestras.

De la misma forma, el estadístico *F*, revela diferencias altamente significativas ($p<0,01$) en los valores de minerales de las muestras que siguen una distribución normal. La amplia variabilidad en el contenido de minerales confirma la influencia del origen botánico en la composición de las mieles. Hay que destacar que los microelementos son susceptibles de contaminarse por factores antropogénicos debido a sus bajos contenido en las mieles.

3.5 Correlación

Un análisis de correlación fue empleado para identificar la relación que existen entre las variables de las muestras analizadas. Se empleó la correlación de Sperman, un test no paramétrico para incluir las variables que no siguen la distribución normal.

Existe una correlación significativa ($r>0,70$) entre el contenido de cenizas y los macroelementos (Mg, Ca, P y K) de las mieles. Esta correlación fue informada por diferentes autores para mieles florales. De la misma manera entre los macroelementos existe una correlación positiva significativa ($p<0,05$).

De los microelementos, el Mn se correlacionó ($p<0,05$) positivamente con el contenido de cenizas ($r>0,85$).

De forma contraria, el Zn y Cr presentaron una correlación negativa con el contenido de cenizas y los macroelementos: Mg y Ca de las mieles. Lo anterior indicaría que los minerales como los microelementos y trazas encontrados en muy bajas concentraciones no siguen un comportamiento similar a los macroelementos. En este caso, los microelementos no estarían asociados a las fuentes de néctar relacionados al origen botánico y geográfico de las mieles. Sin embargo, existen diferentes autores que emplean los microelementos y trazas como discriminantes de su origen.

3.6 Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales fue empleado como exploratorio para identificar la relación entre las muestras, los parámetros fisicoquímicos, el contenido de minerales y su origen geográfico, Fig. 1.

En el ACP, se empleó el contenido de los macroelementos como variables discriminantes sin considerar el contenido de microelementos (excepto el Mn) y los elementos trazas ya que sus bajas concentraciones son susceptibles de alterarse por contaminaciones antropogénicas.

Los primeros 4 factores del ACP explican 84,5 % de la variabilidad total de los datos. El factor F1 explica 35,5% de la variabilidad de los datos.

El factor F1 diferencia las mieles por su mayor contenido de macroelementos. El contenido de K, está fuertemente asociado a eje positivo de F1 agrupando las mieles por su mayor contenido, en el extremo positivo. Lo cual está de acuerdo a lo informado en mieles de Marruecos e Italia donde los macroelementos fueron encontrados como discriminante por su mayor influencia comparada a los parámetros fisicoquímicos (Bettar et al., 2015; Di Bella et al., 2015).

Por otro lado, el F2 factor permite explicar 24,6 % de la variabilidad de los datos, las variables de mayor influencia fueron: pH y los °Brix. Estos parámetros fueron empleados como discriminantes de las mieles de diferentes origen botánicos y geográficos. El factor F2 separaría las muestras de acuerdo a su origen geográficos. Por lo tanto, es importante la determinación de los parámetros fisicoquímicos en las mieles y la relación con otras variables para emplearlas de forma conjunta como discriminantes.

Otros autores que trabajaron simultáneamente con los parámetros fisicoquímicos y los minerales están de acuerdo que los minerales tienen mayor relación al origen geográfico (Conti et al., 2014; Di Bella et al., 2015; Karabagias et al., 2017).

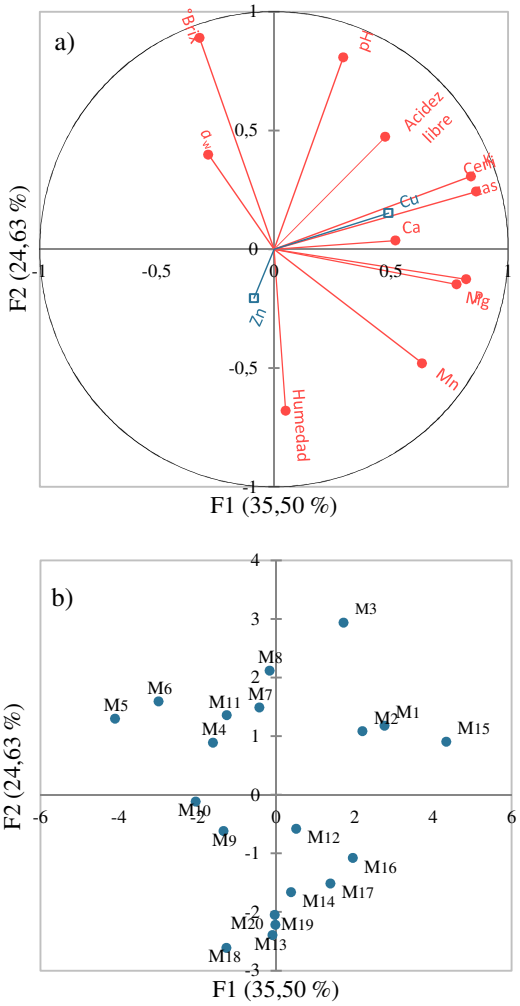


Figura 1. Análisis de componentes principales. Gráfico de a) loadings y b) scores de las muestras

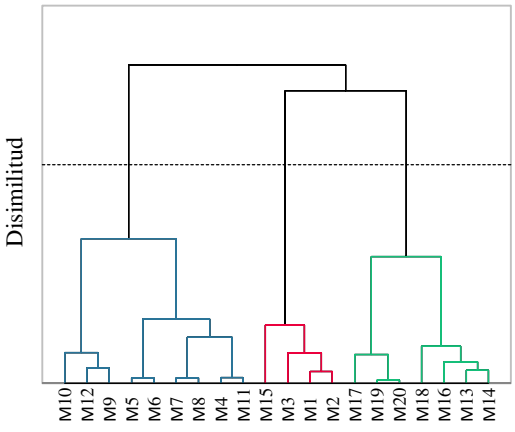


Figura 2. Análisis de Hierarchical Cluster

3.7 Análisis de Hierarchical Cluster

La Fig. 2 muestra un dendograma generado por el análisis de Hierarchical Cluster, obtenida por el método Ward's aplicado a los datos del ACP. De acuerdo al dendorgrama a bajos niveles se observan 3 grupo de mieles, de los cuales dos corresponden a sus diferentes orígenes geográficos. Un grupo está formado por 4 muestras agrupados por su mayor contenido de K. Por lo tanto, las técnicas exploratorias empleadas muestran que existe una tendencia a separar las mieles de acuerdo a su origen geográfico empleando el contenido de minerales y los parámetros fisicoquímicos. De la misma manera, Conti et al. (2014) reportó que los minerales fueron adecuados para el agrupamiento o clasificación en mieles de diferentes regiones geográficas.

4 CONCLUSION

Los resultados obtenidos proveen información necesaria para demostrar la calidad de las mieles analizadas. El contenido de los parámetros fisicoquímicos y los minerales reflejan el origen floral de las mieles.

Los minerales más abundantes fueron el K, P y Ca, aunque el valor nutricional de las mieles como endulzantes es bajo. Al combinar los parámetros fisicoquímicos, el contenido de minerales y los métodos multivariados se pude diferenciar las mieles por su origen geográfico. En este estudio los minerales tienen mayor relación al origen geográfico comparado a los parámetros fisicoquímicos.

Por lo tanto, los resultados cuantitativos y el análisis polínico que demostró la predominancia de flora nativa de la región en las muestras analizadas, podrían caracterizar y definir a las mieles artesanales de Jujuy como diferentes a otras mieles.

5 REFERENCIAS

Aazza, S., Lyoussi, B., Antunes, D., y Miguel, M. G. (2013). Physicochemical characterization and antioxidant activity of commercial Portuguese honeys. *Journal of food Science*, 78(8), C1159-C1165. DOI:10.1111/1750-3841.12201

Afrin, S., Haneefa, S. M., Fernandez-Cabezudo, M. J., Giampieri, F., al-Ramadi, B. K., y Battino, M. (2020). Therapeutic and preventive properties of honey and its bioactive compounds in cancer: an evidence-based review. *Nutrition Research Reviews*, 33(1), 50-76. DOI: 10.1017/S0954422419000192

Al-Hariri, M. (2018). Sweet treats sweet: a review of antidiabetic properties of honey. *Global Journal of Health Science*, *10*(6), 1-94.

Alves A, Ramos A, Gonçalves MM, Bernardo M, y Mendes B. (2013). Antioxidant activity, quality parameters and mineral content of Portuguese monofloral honeys. *Journal Food Composition and Analysis,* 30(2): 130-138. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2013.02.009

AOAC (2005). *Official methods of analysis of AOAC International*. Gaithersburg, Md: AOAC International

Baroni, M. V., Arrua, C., Nores, M. L., Fayé, P., del Pilar Díaz, M., Chiabrando, G. A., y Wunderlin, D. A. (2009). Composition of honey from Córdoba (Argentina): Assessment of North/South provenance by chemometrics. *Food Chemistry*, *114*(2), 727-733.

Batista, B.L., Da Silva, L.R.S., Rocha, B.A., et al*.,* (2012). Multi-element determination in Brazilian honey samples by inductively coupled plasma mass spectrometry and estimation of geographic origin with data mining techniques. *Food Research International*, 49, 209-215. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.07.015

Bettar, I., González-Miret, M. L., Hernanz, D., Marconi, A., Heredia, F. J., y Terrab, A. (2019). Characterisation of Moroccan Spurge (*Euphorbia*) honeys by their physicochemical characteristics, mineral contents and colour. *Arabian Journal of Chemistry*, *12*(8), 2052-2060. https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2015.01.003

Bibi, S., Husain, S. Z., y Malik, R. N. (2008). Pollen analysis and heavy metals detection in honey samples from seven selected countries. *Pak J Bot*, *40*(2), 507-516.

Bogdanov, S., Haldimann, M., Luginbühl, W., y Gallmann, P. (2007). Minerals in honey: environmental, geographical and botanical aspects. *Journal of Apicultural Research*, *46*(4), 269-275.

Cavaco, T., y Figueira, A.C. (2016). Functional Properties of Honey and Some Traditional Honey Products from Portugal. In: *Functional Properties of Traditional Foods* (edited by K.

Kristbergsson, y S. Ötles). Pp. 339-352. Boston MA, USA: Springer https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7662-8_24

Cengiz, M. M., Tosun, M., y Topal, M. (2018). Determination of the physicochemical properties and $^{13}C/^{12}C$ isotope ratios of some honeys from the northeast Anatolia region of Turkey. *Journal of Food Composition and Analysis*, 69, 39-44. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2018.02.007

Chudzinska, M., y Baralkiewicz, D. (2010). Estimation of honey authenticity by multielements characteristics using inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS) combined with chemometrics. *Food and Chemical Toxicology*, *48*(1), 284-290. DOI: 10.1016/j.fct.2009.10.011

Codex Alimentarius Commission (2019). Standard for Honey. *Codex Alimentarius Comission* FAO/OMS, Rome, CXS 12-1981, 1-8

Coelho, I., Matos, A. S., Teixeira, R., Nascimento, A., Bordado, J., Donard, O., y Castanheira, I. (2019). Combining multielement analysis and chemometrics to trace the geographical origin of Rocha pear. *Journal of Food Composition and Analysis*, *77*, 1-8.

Conti, M. E., Finoia, M. G., Fontana, L., Mele, G., Botrè, F., y Iavicoli, I. (2014). Characterization of Argentine honeys on the basis of their mineral content and some typical quality parameters. *Chemistry Central Journal,* 8(1), 44 DOI: 10.1186/1752-153X-8-44

Damodaran, S., y Parkin, K. L. (2018). *Química de alimentos de Fennema*. Artmed editora.

Di Bella, G., Turco, V. L., Potortì, A. G., Bua, G. D., Fede, M. R., y Dugo, G. (2015). Geographical discrimination of Italian honey by multi-element analysis with a chemometric approach. *Journal of Food Composition and Analysis,* 44, 25-35. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.05.003

Downey, G., Hussey, K., Kelly, J. D., Walshe, T. F., y Martin, P. G. (2005). Preliminary contribution to the characterisation of artisanal honey produced on the island of Ireland by palynological and physico-chemical data. *Food Chemistry*, *91*(2), 347-354.

Grembecka, M. (2015). Natural sweeteners in a human diet. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*, *66*(3).

Hempattarasuwan, P., Settachaimongkon, S., y Duangmal, K. (2019). Impact of botanical source and processing conditions on physicochemical properties and antioxidant activity of honey in the northern part of Thailand. *International Journal of Food Science y Technology*, *54*(12), 3185-3195. https://doi.org/10.1111/ijfs.14253

IARC, Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. (2012). Arsenic, metals, fibres, and dusts. *IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans*, *100*(PT C), 11.

Karabagias, I. K., Louppis, A. P., Karabournioti, S., Kontakos, S., Papastephanou, C., y Kontominas, M. G. (2017). Characterization and geographical discrimination of commercial *Citrus spp*. honeys produced in different Mediterranean countries based on minerals, volatile compounds and physicochemical parameters, using chemometrics. *Food Chemistry,* 217, 445-455. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.124

Ley 27.642 (28 de mayo de 2023). *Ley de etiquetado frontal*. https://www.argentina.gob.ar/justicia/derechofacil/leysimple/salud/ley-de-etiquetado-frontal

Madejczyk, M., y Baralkiewicz, D. (2008). Characterization of Polish rape and honeydew honey according to their mineral contents using ICP-MS and F-AAS/AES. *Analytica chimica acta*, *617*(1-2), 11-17.

Manzanares, A. B., García, Z. H., Galdón, B. R., Rodríguez, E. R., y Romero, C. D. (2014). Physicochemical characteristics of minor monofloral honeys from Tenerife, Spain. *LWT - Food Science y Technology,* 55, 572-578. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.09.024

Nalda, M. J., Bernal Yagüe, J. L., Diego Calva, J. C., y Martin Gomez, M. T. (2005). Classifying honeys from the Soria Province of Spain via multivariate analysis. *Analytical and Bioanalytical Chemistry, 382*, 311-319.

Nayik, G.A., y Nanda, V., (2015). Physico-chemical, enzymatic, mineral and colour characterization of three different varieties of honeys from Kashmir valley of India with a multivariate approach. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences,* 65, 101-108.https://doi.org/10.1515/pjfns-2015-0022

NRD, Nutrient Recommendations and Databases (28 de may. de 2023). Dietary Reference Intake (DRI) Reports and Tables https://ods.od.nih.gov/HealthInformation/nutrientrecommendations.aspx#dri

OPS, (28 de may. de 2023). Organización Panamericana de la Salud. *Etiquetado frontal de advertencias en Argentina*. https://www.paho.org/es/etiquetado-frontal-advertencias-argentina

Patrignani, M., Bernardelli, C., Conforti, P.A., et al., (2015). Geographical discrimination of honeys through antioxidant capacity, mineral content and colour. *International Journal of Food Science y Technology,* 50, 2598-2605. https://doi.org/10.1111/ijfs.12928

Pohl, P., Stecka, H., Greda, K., y Jamroz, P. (2012). Bioaccessibility of Ca, Cu, Fe, Mg, Mn and Zn from commercial bee honeys. *Food Chemistry*, *134*(1), 392-396.

Rios, F., Sanchez, A.C., Lobo, M., et al., (2014). A chemometric approach: characterization of quality and authenticity of artisanal honeys from *Argentina. Journal Chemometrics,* 28, 834-843. https://doi.org/10.1002/cem.2654

Siddiqui. A.J., Musharraf, S.G., Choudhary, et al., (2017). Application of analytical methods in authentication and adulteration of honey. *Food Chemistry,* 217, 687-698. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.001

Solayman, M., Islam, M., Paul, S., et al., (2016). Physicochemical properties, minerals, trace elements, and heavy metals in honey of different origins: a comprehensive review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety,* 15, 219-233. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12182

Terrab, A., Recamales, A. F., Hernanz, D., y Heredia, F. J. (2004). Characterisation of Spanish thyme honeys by their physicochemical characteristics and mineral contents. *Food Chemistry*, *88*(4), 537-542.

Tuzen, M., Silici, S. İ. B. E. L., Mendil, D., y Soylak, M. (2007). Trace element levels in honeys from different regions of Turkey. *Food chemistry*, *103*(2), 325-330.

Vanhanen, L. P., Emmertz, A., y Savage, G. P. (2011). Mineral analysis of mono-floral New Zealand honey. *Food Chemistry*, *128*(1), 236-240.

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos de las mieles artesanales de Jujuy

Mieles (n=11)	Polen predominante	Humedad (%)	°Brix (%)	Cenizas (%)	pH (25°C)	Acidez libre (meq/kg)	a_w
M1	*Allophylus edulis*	17,2±0,3	82,8±0,3	0,40±0,02	4,15±0,03	32,05±0,72	0,61±0,02
M2	*Eucalyptus sp, Myrtaceae nativas*	16,2±0,1	83,8±0,1	0,39±0,04	4,10±0,02	27,07±2,19	0,59±0,01
M3		15,6±0,2	84,4±0,2	0,36±0,02	4,45±0,02	26,47±2,02	0,60±0,03
M4	*Baccharis sp,*	16,1±0,1	83,9±0,1	0,20±0,01	4,09±0,04	15,21±1,12	0,60±0,02
M5	*Allophylus edulis*	15,8±0,3	84,2±0,3	0,08±0,00	4,08±0,04	15,29±1,06	0,60±0,01
M6	*Ziziphus mistol*	15,9±0,3	84,1±0,2	0,14±0,01	4,14±0,02	22,56±0,32	0,60±0,01
M7	*Gleditsia amorphoides*	15,9±0,2	84,1±0,2	0,20±0,02	4,26±0,02	21,61±1,61	0,58±0,01
M8	*Gleditsia amorphoides*	15,5±0,1	84,5±0,2	0,20±0,00	3,95±0,03	32,50±0,71	0,59±0,03
M9	*Prosopis sp*	17,6±0,3	82,4±0,3	0,16±0,01	3,61±0,20	30,66±2,48	0,59±0,03
M10	*Eucalyptus sp,*	16,5±0,1	83,5±0,1	0,10±0,01	3,74±0,06	33,63±2,22	0,57±0,03
M11	*Baccharis sp,*	16,1±0,2	82,9±1,4	0,25±0,01	4,15±0,03	25,71±2,26	0,60±0,03
Media ± DE		16,2±0,6	83,7±0,7	0,2±0,1	4,07±0,23	25,71±6,49	0,59±0,01
CV (%)		4,0	0,8	49,9	5,7	25,3	1,9
F-test		32,77	6,1	84,6	33,2	48,9	4,8
p-value		<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,01

DE: desviación estándar; n: número de muestra

Tabla 3. Contenido de minerales de las mieles

Mieles (n=11)	Macroelementos (mg/kg)					Microelementos (µg/kg)				Trazas (µg/kg)			No esenciales (µg/kg)		
	K	Mg	P	Ca	Zn	Mn	Cu	Cr	Sr	Ni	Va	Co	As	Cd	Pb
M1	1824,0±38,1	46,3±0,8	115,6±2,3	76,8±2,8	702,5±3,9	1006,5±12,8	415,9±1,6	30,5±0,2	372,8±0,8	58,2±0,1	11,4±0,1	4,6 <LQ	5,7<LQ	0,9<LQ	7,2<LQ
M2	1701,6±33,2	43,3±1,1	107,7±5,6	80,6±6,5	662,0±45,0	978,6±5,3	420,3±1,7	28,4±2,8	368,6±4,8	53,9±3,6	11,1±0,5	4,7<LQ	5,2<LQ	1,3<LQ	9,9<LQ
M3	1773,9±1,5	42,8±0,3	88,3±0,3	84,2±0,2	611,9±17,9	1210,8±0,2	392,7±0,7	39,0±11,9	332,8±1,5	72,1±5,5	13,6±3,4	6,3<LQ	4,4<LQ	0,9<LQ	9,3<LQ
M4	970,1±55,7	27,1±1,2	61,4±0,8	70,8±2,0	750,2±28,3	913,6±11,4	463,2±20,0	38,3±4,1	234,5±2,8	140,0±10,1	12,1±0,1	7,3<LQ	2,9<LQ	1,3<LQ	106,6±9,4
M5	506,7±102,5	17,6±0,3	45,4±0,5	42,9±0,3	846,5±48,8	460,3±2,7	182,9±2,4	147,3±3,4	176,5±0,1	40,3±2,9	47,9±10,3	3,8<LQ	2,8<LQ	1,9<LQ	4,8<LQ
M6	651,5±3,9	19,1±0,3	47,1±0,3	44,9±1,0	1291,2±2,9	657,0±1,2	317,3±114,8	268,3±12,0	195,6±0,1	199,9±86,4	83,7±3,7	4,9<LQ	2,5<LQ	3,2<LQ	177,3±14,8
M7	1153,1±2,5	36,7±0,1	69,1±0,5	52,4±0,4	1304,8±27,0	859,6±1,9	818,5±20,6	212,6±6,1	199,0±2,8	405,2±3,9	67,6±18,0	11,5±1,1	3,5<LQ	2,6<LQ	23,7±1,4
M8	5675,4±59,4	43,4±0,3	69,1±0,6	61,1±0,3	695,9±23,3	756,8±1,7	178,1±6,7	24,1±0,5	558,9±2,4	48,7±3,4	5,7<LOQ	41,9±0,15	5,6<LQ	1,3<LQ	5,1<LQ
M9	894,5±9,4	27,8±0,6	91,5±2,6	51,3±1,1	1290,4±51,6	446,3±11,6	289,4±0,3	254,8±3,7	262,3±0,1	64,5±13,7	82,0±2,2	4,0<LQ	10,6<LQ	1,1<LQ	4,7<LQ
M10	697,8±23,4	21,1±0,6	66,1±0,8	53,8±1,3	3549,7±37,9	584,3±4,7	201,0±3,8	212,2±4,8	305,5±2,8	21,0±1,4	68,9±2,7	8,7<LQ	4,9<LQ	1,9<LQ	11,8<LQ
M11	440,3±1,4	43,2±0,1	49,3±0,1	77,1±0,1	1260,4±26,9	785,9±7,9	291±0,1	124,4±5,2	298,4±3,9	48,3±1,2	4,8<LOQ	2,8<LQ	1,3<LQ	1,5<LQ	4,5<LQ
Media ± DE	1061,0±501,1	32,8±10,7	73,7±24,1	63,3±15,1	1178,7±837,3	787,3±238,2	375,2±181,8	1245,0±125,5	300,5±109,6	104,7±112,0	44,3±32,2				
CV (%)	47,2	32,6	32,7	23,8	71,0	30,3	48,4	78,3	36,4	106,9	72,7				
F-test	1183,1	317,2	140,30	42,9	$19,7^{K}$	1120,8	25,8	$20,1^{K}$	1974,0	17,2					
p-value	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,05	<0,001	<0,001	<0,05	<0,001	<0,001					

DE: desviación estándar; n: número de muestra, ^{K} test Kruskal-Wallis

Capacidad antioxidante y perfil fitoquímico de extractos alcohólicos de especies vegetales nativas de Santiago del Estero

Rojas, Milagros[1]; Medina, Analía V.[1];Nazareno, Mónica A.[1,2]; García,Elisa M.[1,2]

(1) Instituto de Ciencias Químicas, Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero.
mili.rojas39@gmail.com; anaveromedina83@gmail.com; manazar2004@yahoo.com; marian_sgo@yahoo.com.ar

(2) CONICET

RESUMEN

Objetivos: Caracterizar la composición de compuestos fitoquímicos antioxidantes de especies vegetales nativas de la región NOA. Se analizaron*Celtis* (tala), *Prosopis alba* (algarrobo blanco), *Acacia aroma* (tusca), *Larrea divaricata* (jarilla), *Zizyphuz mistol* (mistol), *Caesalpina paraguarienses* (guayacán), *Cercidirumpraecox* (brea) y *Capparisatamisquea* (atamisqui). Metodología: A partir de extractos hidroalcohólicos, se determinaron los contenidos totalesde compuestos fenólicos, además, el perfil de fitoquímicos se analizó por HPLC. Se determinó la actividad antioxidante frentea los radicalesDPPH$^{\bullet}$y ABTS$^{\bullet+}$y el poder reductor frente a catión hierro (III). Resultados: el estudio fitoquímico mostró contenidostotales de fenoles en un rango entre: 6,51 -59,44 mg AGa/g MS. Las especies jarilla, mistol y guayacán presentaron mayor contenido de fenoles. El contenido total de flavonoides varió entre 1,66 y 5,89 mg QE/ g MS siendo jarilla la de mayor contenido.Los ensayos de actividad antioxidante permitieron reconocer que jarilla, mistol, guayacán y tusca tienen las mayores capacidadesantirradicalariasy mayores poderes reductores. Los perfiles cromatográficos de los extractos de especies leñosas mostraron una composición cualitativa similar, encontrándose como componentes mayoritarios ácido gálico, ácido clorogénico, ácido siríngico, ácido cafeico, ácido ferúlico, rutina y quercetina, en común a todas las especies.

ABSTRACT

Objectives: Characterize the composition of antioxidant phytochemical compounds of plant species native to the NOA region.Selectedspeciestoanalizewere*Celtis*(tala), *Prosopis alba* (algarrobo blanco), *Acacia aroma* (tusca), *Larrea divaricata* (jarilla), *Zizyphuz mistol* (mistol), *Caesalpina paraguarienses* (guayacán), *Cercidirumpraecox* (brea) y *Capparisatamisquea* (atamisqui). Methodology: From hydroalcoholic extracts, the total contents of phenolic compounds were determined, in addition, the phytochemical profile was analyzed by HPLC. The antioxidant activity against the DPPH• and ABTS•+ radicals and the reducing power against the iron (III) cation were determined. Results: the phytochemical study showed total phenol contents in a range between6.51 and 59.44 mg AGa/ g DM. The jarilla, mistol and guayacán species presented the highest phenol contents. The total content of flavonoids varied between 1.66 and 5.89 mg QE/ g DM, being jarilla the one with the highest one.The antioxidant activity tests allowed us to recognize that jarilla, mistol, guayacán and tusca have the greatest antiradical capacities and greater reducing powers. The chromatographic profiles of the extracts of woody species showed a similar qualitative composition, finding gallic acid, chlorogenic acid, syringic acid, caffeic acid, ferulic acid, rutin and quercetin as major components, common to all species.

Palabras claves: Radicales libres- polifenoles- leñosas nativas

Keywords: Free radicals- polyphenols- native woody

1. INTRODUCCIÓN

Argentina presenta una extraordinaria biodiversidad de plantas con potencialesusos alimenticios y medicinales. Los alimentos funcionales permiten incorporar al organismo ingredientes o aditivos con propiedades no solo nutricionales, sino también quimiopreventivas de enfermedades. El Chaco Argentino presenta una diversidad de especies autóctonas, entre ellas las leñosas, que además de representar un recurso importante de alimentación para el ganado, especialmente cuando la disponibilidad de forraje es escasa durante la estación seca, poseen fitoquímicos con potencialidad para la elaboración de productos de alto valor agregado para uso en sistemas productivos de la cadena agroalimentaria. Estas especies producen una gran variedad de metabolitos secundarios, entre los que se encuentran los taninos condensados y otros compuestos fenólicos. La popularización del uso de las especies leñosas nativas conlleva a la necesidad de un estudio científico para asegurar el uso seguro y eficaz. El estudio de componentes bioactivos como los compuestos fenólicos presentes en extractos hidroalcohólicos aportarán información para explicar su potencial acción antioxidante, relacionada con la prevención de enfermedades crónicas. Las sustancias antioxidantes extraídas de plantas podrían ser beneficiosas ante patologías como infecciones, enfermedades inflamatorias, diabetes, etc. (Nasri et al., 2014).

Elobjetivo de este trabajo fuedeterminar la capacidad antioxidante y caracterizar la composición fitoquímica de extractos alcohólicos de especies vegetales nativas de Santiago del Estero.

2. METODOLOGÍA

2.1*Recolección y acondicionamiento del material vegetal*

Las hojas de las especies en estudio se recolectaron entre diciembre2021 y marzo 2022 en el Campo Experimental del INTA EEA Santiago del Estero. El material fue secado en estufa a 60 °C y luegomolido a un tamaño de 1 mm y se conservó en recipiente con cierre hermético hasta su empleo en el proceso de extracción y análisisquímico. Las especies estudiadas fueron *Celtis* (tala),*Prosopisalba* (algarrobo blanco), *Acacia aroma* (tusca),*Larrea divaricata* (jarilla), *Zizyphuz mistol* (mistol),*Caesalpina paraguarienses* (guayacán), *Cercidirumpraecox* (brea) y *Capparisatamisquea* (atamisqui).

2.2*Preparación de los extractos de especies leñosas asistida por ultrasonido*

Para la preparación de losextractos de las nueve especies vegetales seleccionadas, se pesaron 10 g de cada material vegetal en polvo y se colocaron en frasco color caramelo, añadiendo 100 mL de Metanol al 70% (v/v). La extracción se realizó a temperatura ambiente por una hora con períodos de sonicación con intervalos de 15 minutos. Finalmente, el líquido extraído se separó por centrifugación a 10.000*xg* durante 10 minutos y se dispuso en botellas color caramelo y se almacenó en refrigeración hasta su uso. Las extracciones se realizaron por triplicado.

2.3 *Determinación de fitoquímicos*

2.3.1*Cuantificación de compuestos fenólicosy flavonoides*

El contenido total de compuestos fenólicos (CTF) se determinó por el método de Singleton et al.,(2019), que se fundamenta en la reducción del reactivo de Folin-Ciocalteupor los compuestos fenólicos formando un complejo azulado que absorbe a 765 nm. En un tubo de ensayo se colocó 100 µl de extracto, se agregaron 1,1mL de agua desionizada y 0,65mL del reactivo de Folin-Ciocalteu; luego se agregó 3,15mL de carbonato de sodio (20%). Cada tubo de reacción se incubó a 50 °C durante 15 min, se llevó a baño de agua con hielo hasta reducir la temperatura y luego se midió la absorbancia a 765 nm en un espectrofotómetroUV-visibleJenway 7315. La curva de calibración se realizó con ácido gálico (AGa). Los resultados fueron expresados en mg equivalente de AGapor gramo de muestra seca (mg AGa/g MS). Este ensayo se efectuó por triplicado para cada extracto.

El contenido de flavonoides (F) en los extractos vegetales, se determinó a partir del método de acomplejamiento del cloruro de aluminio (Marcucciet al., 1995).Para la reacción, se tomó 0,2 mL del extracto metanólico, se agregó 0,2 mL de solución de cloruro de aluminio al 2% y se

llevó a un volumen de 5 mL con la mezcla de acetato de etilo-ácido acético glacial-metanol (40:3:57). Por último, se registró la absorbancia del complejo formado a 428 nm.El contenido total de flavonoides se expresócomo equivalentes de quercetina (QE)por g de materia seca (mg QE/ g MS) a partir de la curva de calibraciónde QE.

2.3.2 *Identificación de compuestos fenólicos por Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC)*

Esta técnica es ampliamente utilizada para la separación e identificación de compuestos fenólicos en muestras vegetales debido a su facilidad de uso y practicidad. Los compuestos fenólicos son separados en función de su afinidad diferencial con la fase estacionaria y la fase móvil (cuya composición varía en el tiempo por ser una elusión en gradiente) y son detectados por un sistema UV-Visible mediante un sistema de arreglo de diodos a medida que van eluyendo de la columna.

El análisis cualitativo de los compuestos fenólicos se realizó por Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC), utilizando un cromatógrafo líquido de alta Resolución marca LAB-ALLIANCE serie III, con inyector Rheodyne bucle de 20 µl de inyección, detector dearreglo de diodos (DAD) SHIMADZU UV/Visible SPD-M20A y procesador CLASS VP, provisto de una columna de fase reversa Hipersil GOLD ThermoScientificC18 de 250 x 4,6 mm con partículas de 5µm.

Las determinaciones se realizaron con un flujo de 1 mL/min a 30°C en condiciones de gradiente, se utilizaron combinaciones de acetonitrilo-agua-ácido acético glacial (8:90:2) (Fase A) y acetonitrilo puro (Fase B). Durante los primeros 5 minutos se mantuvo constante la composición de la Fase A, luego se incrementó la Fase B un 10% manteniéndose en estas condiciones por 7 minutos, luego un incremento de fase B a un 20% manteniéndose por 7 minutos finalmente se incrementó la proporción de la Fase B hasta 60 % y se mantuvo durante 15 minutos. La detección se realizó a 260 nm, 290 nm, 310 nm y 360 nm, en corridas de 40 min. La presencia de los diferentes compuestos fenólicos fue confirmada por comparación de los espectros, tiempos de retención y co-inyección de patrones puroscomerciales de marca Sigma y Aldrich. La cuantificación de cada compuestoidentificadose realizó mediante la técnica del estándar externo. Para ello se determinó el área bajo cada pico identificado del cromatograma, y se obtuvo la concentración del compuesto mediante las curvas de calibrado, construidas con los patrones en diferentes concentraciones. La concentración fue expresada en mg/ 100 g MS.

2.4*Propiedades funcionales de los extractos de especies leñosas*

2.4.1.*Actividaddepuradora del radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH$^{\bullet}$)*

Los ensayos de inhibición de radicales DPPH$^{\bullet}$ se hicieron utilizando el método descripto por Brand-Williams et al. (1995) con algunas modificaciones. Este método está basado en la decoloraciónde una solución alcohólica de DPPH$^{\bullet}$ en presencia de un antioxidante donador de hidrógeno y/o electrones como compuestos fenólicos presentes en los extractos vegetales. Se preparó una solución del radical en metanol hasta obtener una absorbancia de 1 a 515 nm. Luego se agregaron alícuotas de cada uno de los extractos fenólicos; se midió la absorbancia a 515 nm en un espectrofotómetro UV-Visible. La disminución de la misma fue registradapor intervalos de 30 segundos por un intervalo de 10 minutos. Los resultados se expresaron como porcentajes de actividad antirradicalaria (% AAR)se calculó, mediante la ecuación:

$$AAR\,(\%) = 100\left[1 - \frac{A_m^{\infty}}{A^0}\right] \qquad (1)$$

Dónde:

A^0: absorbancia al tiempo 0 sin el agregado de muestra

A_m^{∞}: absorbancia de la muestra al tiempo infinito

La absorbancia en estado estacionario se obtuvo mediante el ajuste de los perfiles cinéticos.Se usócomo antioxidante de referenciaal AGa. Los resultados se expresaron como %AAR y mgAGa/ g MS.

2.4.1.*Capacidad depuradora del radical catión ácido2,2'-Azinobis-(3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico) (ABTS$^{\bullet+}$)*

El ensayo se llevó a cabo de acuerdo con el método descrito por Re et al. (1999). Este ensayo se basa en la decoloración del radical catiónico $ABTS^{\bullet+}$ por un agente antioxidante. El $ABTS^{\bullet+}$ es una molécula altamente soluble en agua con

máximos de absorción a 414, 645, 734 y 815 nm. En presencia de persulfato de potasio forma un radical catión de coloración azul verdosa, el cual puede ser reducido en presencia de antioxidantes que ejerzan su acción por donación de hidrógenos.El radical se generó en oscuridad durante 12-16 h, mediante la adición de persulfato de potasio (2,5 mM, concentración final) a una solución acuosa 7 mM de ABTS. Luego se diluyó con buffer fosfato (pH 7) hasta una absorbancia de 0,70 ±0,01 (Rice-Evans et al., 1996). Se agregaron alícuotas de 20 µL de extracto. La absorbancia se monitoreó a 734 nm durante 10 min. Para el cálculo de la actividad se aplicó la ecuación (1).Como controles positivos se empleó Trolox y los resultados se expresaron como % AAR y µmolTrolox/ 100 g MS.

2.4.2.*Actividad reductora de iones férricos oensayo FRAP*

La capacidad de las especies vegetales para reducir el Fe (III) a Fe (II) se determinóespectrofotométricamente de acuerdo con la técnica descrita por Oyaizu (1986). Esta técnica se basa en la reducción del ferricianuro de potasio (Fe^{3+}) a ferrocianuro de potasio (Fe^{2+}), el cual reacciona con el cloruro férrico para formar azul de Prusia, que es detectado espectrofotométricamente a 700 nm y cuya intensidad es dependiente de la concentraciónde los antioxidantes que se encuentran en la muestra. Cuanto mayor sea la absorbanciaen el medio de reacción, mayor será el poder reductor de las sustancias antioxidantesque se evalúan.
Para este ensayo, se tomó 1 mL del extracto, al que se le adicionó 1 mL de buffer fosfato (0,2 M; pH 6,6) junto a 1 mL de ferricianuro de potasio al 1% p/v. Se utilizó vórtex para homogenizar la solución y se incubó a 50°C durante 20 min. La mezcla incubada, fue enfriada a temperatura ambiente y posteriormente se le adicionó 1 mL de ácido tricloroacético (TCA) al 10% p/v, se homogenizó nuevamente la mezcla, y por último se centrifugódurante 10 min a 3000 rpm. Una alícuota de 1,5 mL del sobrenadante se mezcló con 1,5 mL de agua destilada y 0,3 mL de solución de $FeC1_3.6H_2O$ (0,1%). Se dejó reposar por 2 minutos y se midió la absorbancia a 700 nm usando un espectrofotómetro UV-Visible. Se utilizócomo referencia Trolox para la curva de calibración. Los resultados se expresaron como µmolTrolox/ 100 g MS.

2.5 Tratamiento estadístico

Los datos se analizaron como diseño completamente aleatorizado utilizando el programa INFOSTAT mediante el análisis de la varianza (ANOVA) para evaluar diferencias entre las especies leñosas ($p<0,05$) y el test LSD de comparación de medias cuando existieron diferencias significativas en el ANOVA. Se usó el análisis de componentes principales (ACP) para visualizar las diferencias entre los contenidos de compuestos bioactivos y la actividad antioxidante para las diferentes especies vegetales estudiadas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los contenidos totales de compuestos fenólicos (CTF) se muestran en la Tabla 1. Los resultados obtenidos mostraron un amplio rango comprendido entre 6,51–59,44 mg AGa/ g MS en las especies analizadas. Se encontraron diferencias significativas entre las especies, siendo la jarilla la que tuvo el contenido más alto (59,44 mg AG/ g MS), mistol, guayacán y tusca presentaron contenidos intermedios (45,95; 44,69; 35,4 mg AGa/ mL respectivamente); mientras que algarrobo, brea, tala y atamisqui presentaron los contenidos más bajos (28,43; 13,42; 10,02 y 6,51 mg AGa/ g MS respectivamente). En cuanto al contenido de flavonoides la tendencia fue la misma excepto para el algarrobo que presentó contenidos intermedios (3,86 mg QE/ g MS). La jarilla fue la que presentó el mayor contenido y tala la que tuvo el menor valor (5,89 y 1,43 mg QE/ g MS respectivamente). Para algarrobo y mistol los contenidos obtenidos fueron superiores a los reportados por otros autores; mientras que, para jarilla, los valores obtenidos fueron inferiores. Se ha reportado que los compuestos fenólicos libres en la harina de *P. nigra* y *P. alba*varióentre 0,21 y 0,67 g AGa/100 g harina y los valores deflavonoides en *P. nigra*presentó contenidos entre 3,47 y 13,88 gQE/ 100 g harina. (Pérez et al., 2014). También hay evidencias de especies vegetales que habitan el noroeste argentino, con contenidos fenólicos comprendidos entre 39,9958 y 6,3319 mg AGs/ mL y una alta actividad antioxidante (Torres-Carro et al., 2019). Para el mistol, Cardozo et al., (2011) encontraron CTF de 7,97 mg AGa/ g MS y contenido de flavonoides de 0,21 g QE/ g MS. Sin embargo, hasta el momento, no existen aún informes específicos comparativos sobre la

composición de fenólicos y la actividad antioxidante de las hojas las especies nativas de nuestra región.

Considerando que la formación de los metabolitos secundarios en las especies vegetales está determinada por diferentes factores como suelo, clima, edad de la planta, época de recolección, acondicionamiento y almacenamiento de la muestra como también el método de extracción, entre otros; lo que podría explicar la variación de los datos alcanzados en cuanto a la composición en comparación con otros autores. Esto remarca la importancia del estudio de especies autóctonas de nuestra región de manera de revalorizar sus posibles usos.

Tabla 1. Composición de fitoquímicos y actividad antioxidante de extractos metanólicos de hojas de especies leñosas nativas.

Especie leñosa	CTF	F	DPPH (AAR%)	DPPH	ABTS (AAR %)	ABTS	FRAP
Atamisqui	6,51^{a}	1,66^{a}	6,50^{a}	1,89^{a}	3,38^{a}	5,39^{a}	24,99^{a}
Tala	10,02^{a,b}	1,43^{a}	10,50^{a}	6,56^{a}	3,34^{a}	5,29^{a}	26,84^{a,b}
Brea	13,42^{b}	2,82^{b}	61,50^{b}	69,41^{b}	25,26^{b}	58,51^{b}	53,83^{c}
Algarrobo blanco	28,43^{c}	3,86^{c}	74,50^{c}	80,16^{b,c}	34,84^{c}	81,77^{c}	72,46^{d,e}
Tusca	35,40^{d}	4,04^{c}	81,50^{c,d}	86,85^{c,d}	5,91^{a}	11,53^{a}	30,22^{b}
Guayacán	44,69^{e}	3,73^{c}	78,50^{c,d}	88,11^{c,d}	46,79^{d}	110,79^{d}	70,62^{d}
Mistol	45,95^{e}	2,24^{a,b}	83,50^{d}	94,21^{d}	34,45^{c}	80,83^{c}	79,92^{f}
Jarilla	59,44^{f}	5,89^{d}	85,00^{d}	97,85^{d}	42,93^{d}	101,41^{d}	75,21^{e}
EE	1,54	0,24	1,69	3,21	2,48	6,02	1,22
p-valor	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Medias con una letra común en columnas no son significativamente diferentes (p > 0,05)
CTF: contenido total de compuestos fenólicos: mg AGa/ g MS. F: flavonoides: mg QE/ g MS. DPPH: mg AGa/ g MS. ABTS: µmol Trolox/100 g MS. FRAP: µmol Trolox/100 g MS.

En cuanto a la actividad antioxidante de los extractos vegetales, se encontraron diferencias significativas entre especies. Los resultados obtenidos con el radical DPPH$^{\bullet}$ mostraron que los extractos que presentaron mayor actividad fueron jarilla, mistol, guayacán y tusca (97,85-94,21-88,11-86,85 mg AGa/ g MS respectivamente), por último, tala y atamisqui (6,56 y 1,89 mg AGa/ g MS respectivamente) (Tabla 1). Los resultados obtenidos muestran una decoloraciónsignificativa del radical DPPH$^{\bullet}$, lo que indica la potencial acción reductora de radicales libres de estos extractos. Respecto de la actividad antioxidante por el método ABTS$^{\bullet+}$, las especies jarilla y guayacán presentaron la mayor actividad (42,93 y 46,79 µmol Trolox/100 g MS respectivamente)mientras que tala y atamisquipresentaron la menor actividad (3,34 y 3,38 µmol Trolox/100 g MS respectivamente). En la literatura se ha reportado que extractos polares y sus fracciones purificadas de hojas de mezquite (*P. laevigata*) han mostrado actividad antioxidante *in vitro* con valores de 11 µg AGa/ mL para DPPH y 236,60 µmol Trolox/ 100 g MS (García-Andrade et al., 2013).

Por otro lado, el poder reductor se definecomo la habilidad de un compuesto para reducir el Fe^{3+} a Fe^{2+}, lo cual indica su capacidad de actuar como antioxidante pordonar electrones. Con esta técnica se logró determinar que los extractos con mayor capacidad reductora fueron en orden decreciente: mistol > jarilla > AB > guayacán > brea > tusca > tala >atamisqui (Tabla 1). Analizando los resultados obtenidos es posible afirmar que el poder reductor de los extractos aumenta con el aumento de la concentración

fenólica descrito por Yildirim et al. (2001). Aunque no se han encontrado datos respecto de esta actividad en la bibliografía, se podría inferir de acuerdo con los resultados obtenidos cual sería el mecanismo de acción de los compuestos bioactivos como agentes antioxidantes. Los ensayos de DPPH y ABTS, son ensayos que miden la capacidad de depuracióndel radical libre. En el caso del ensayo del DPPH, este se realizó en medio metanólico, por tanto, comprendió antioxidantes lipofílicos e hidrofílicos presentes en el extracto. Mientras que en el caso del ABTS, este se desarrolló en medio acuoso, por tanto, se abordó principalmente a los antioxidantes hidrofílicos, en el cual el catión $ABTS^{\bullet+}$ formado en el medio de reacción, se decolora de verde azulado intenso a verde azulado pálido. Por otro lado, el ensayo del FRAP se fundamenta en la capacidad reductora del catión férrico, por acción del agente antioxidante presente en el extracto. Por lo tanto, la decoloración de los radicales libres DPPH y ABTS se debe a la presencia de antioxidantes capaces de donar un protón a dichos radicales libres y en el caso del ensayo FRAP, se debe a la capacidad reductora del catión férrico por parte de grupos hidroxilos. Estos compuestos, están presentes en los extractos metanólico de las hojas de las especies analizadas principalmente como compuestos fenólicos, tal como ha sido mostrado en la tabla 1.

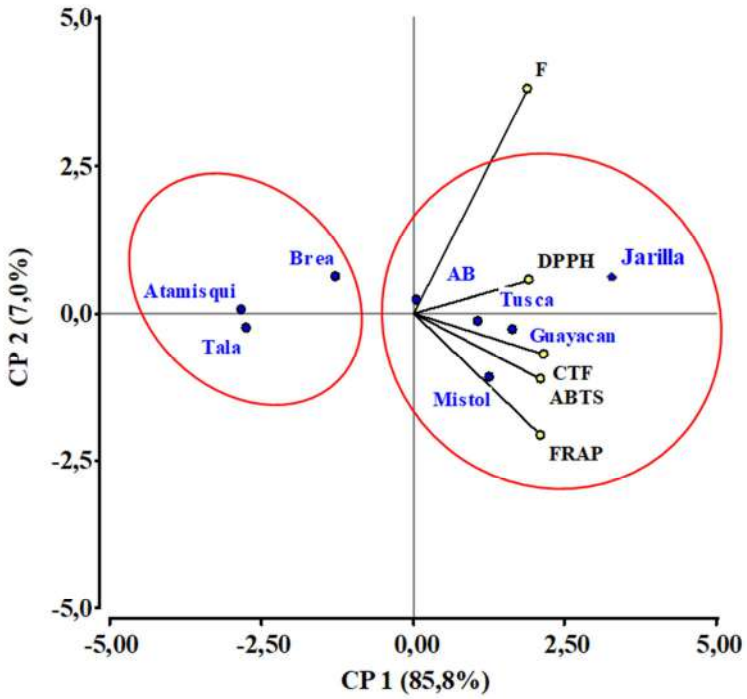


Figura 1. Biplot de análisis de componentes principales obtenido a partir de la composición de fitoquímicos y la actividad antioxidante para las especies estudiadas.

El análisis de componentes principales (ACP) mostró una clara separación en dosgrupos (Fig. 1), grupo 1 integrado por las especies brea, altamisqui, tala y el grupo 2 integrado por las especies AB, jarilla, tusca, guayacán y mistol. Al analizar el porcentaje de variabilidad explicada por el Biplot (Fig. 1), los componentes CP1 y CP2 explican el 92,7% de la variabilidad total de los datos. El componente CP1 del ACP realizado sobre las variables que caracterizan a las diferentes especies leñosas explica el 88,5% de la variabilidad total observada. La especie jarilla presenta mayores valores de CTF seguido de las especies guayacán, tusca, mistol y AB que presentan contenidos intermedios. Analizando las correlaciones entre las variables, el CTF presenta una correlación positiva con la actividad depuradora del radical catión ABTS y con el ensayo de FRAP. Esto sugiere que especies con alto CTF presentan mayor actividad antioxidante.

De la misma manera se puede observar que el contenido de flavonoides está relacionado con la actividad depuradora del radical libre DPPH. En este experimento podemos observar que el contenido de flavonoides varía de manera independiente respecto de la actividad depuradora del radical catiónico ABTS y del poder reductor del catión férrico.

En la caracterización fitoquímica mediante HPLC, se obtuvieron los perfiles cromatográficos de los extractos de especies leñosas, a modo de ejemplo en la Fig.2 se muestra el cromatograma de la especie jarilla. Se identificaron para todas las especies analizadas perfiles similares coincidiendo en varios compuestos fenólicos. Comparando los tiempos de retención y espectros UV-Vis proporcionados por el DAD de los patrones y los extractos analizados, se identificaron los compuestos fenólicos:AGa, ácido clorogénico, ácido siríngico, rutina, ácido cafeico, ácido ferúlico y quercetina. Hasta el momento solo se ha encontrado en bibliografía estudios realizados por Pérez et al., (2014), para la especieAlgarrobo negro y blanco (*Prosopisnigra*y *alba*), los cuales muestran la presencia de AGay rutina como componentes mayoritarios, en coincidencia con nuestros resultados. A partir de las correspondientes curvas de calibración se determinaron las concentraciones de cada compuesto fenólico obtenidas para la especie jarilla se muestran en la Tabla 2 y se expresaron en mg compuesto por g de material vegetal seco (mg/ g MS). Se continúa trabajando en la cuantificación de los demás extractos (datos no mostrados).

Tabla 2. Perfil cromatográfico de extracto metanólico de especie jarilla

Compuesto Fenólico	T_r (min)	Concentración (mg/ g MS)
Ácido Gálico	4,13	0,572
Ácido Clorogénico	10,8	1,142
Ácido Siríngico	14,2	0,889
Rutina	17,7	2,176
Ácido Ferúlico	19,5	0,582
Quercetina	26,7	3,098

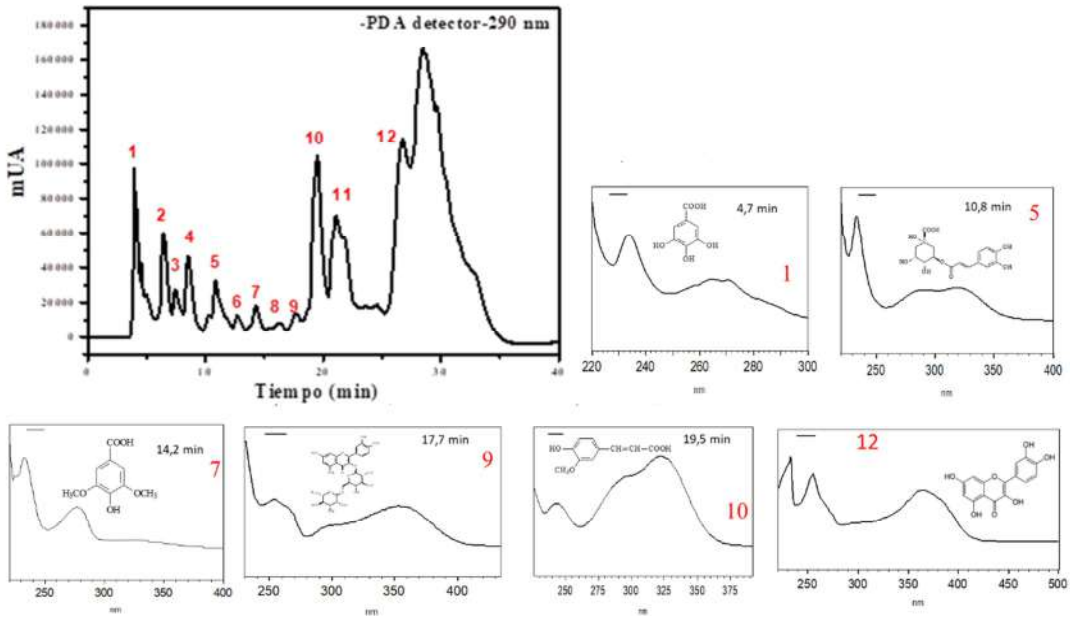


Figura 2: Cromatograma obtenido por HPLC del extracto metanólico de la especie jarilla a 290 nm y luego de realizar la hidrólisis ácida a 360 nm. 1: ácido gálico; 5: ácido clorogénico; 7: ácido siríngico; 9: rutina; 10: ácido ferúlico; 12: quercetina; 2, 3, 4; 6 y 11: no identificados.

4. CONCLUSIÓN

Las especies leñosas nativas de Santiago del Estero estudiadascontienen metabolitos

bioactivos de interés terapéuticos principalmente compuestos fenólicos y flavonoides, con propiedades antioxidantes. De las especies estudiadas, se concluye que jarilla, mistol y guayacán presentan mayor contenido de compuestos fenólicos antioxidantes, las cuales serían fuentes promisorias con potencial aplicación con fines medicinales o en la industria alimenticia.

REFERENCIAS

A. Yıldırım, A. Mavi, A.A. Kara, Determination of antioxidant and antimicrobial activities of Rumex crispus L. extracts, J. Agric. Food Chem., 49(8), 4083-4089 (2001).

Cardozo, M. L., Ordoñez, R. M., Alberto, M. R., Zampini, I. C., & Isla, M. I. (2011). Antioxidant and anti-inflammatory activity characterization and genotoxicity evaluation of Ziziphus mistol ripe berries, exotic Argentinean fruit. Food Research International, 44(7), 2063–2071. doi: 10.1016/j.foodres.2011.02.040.

Garcia-Andrade M., Gonzalez-Laredo R.F., Rocha-Guzman N.E., Gallegos-Infante J.A., Rosales-Castro M., Medina-Torres L. (2013).Mesquite leaves (Prosopis laevigata), a natural resource with antioxidant capacity and cardioprotection potential Industrial Crops and Products, 44, pp. 336-342.

Moreno, M. A., Zampini, I. C., & Isla, M. I. (2020). Antifungal, anti-inflammatory and antioxidant activity of bi-herbal mixtures with medicinal plants from Argentinean highlands. Journal of Ethnopharmacology, 253, 112642. doi: 10.1016/j.jep.2020.112642.

Nasri, H., Baradaran, A., Shirzad, H., &Rafieian-Kopaei, M. (2014). New concepts in nutraceuticals as alternative for pharmaceuticals. International Journal of Preventive Medicine, 5(12), 1487–1499.

Pérez, M. J., Cuello, A. S., Zampini, I. C., Ordoñez, R. M., Alberto, M. R., Quispe, C., … Isla, M. I. (2014). Polyphenolic compounds and anthocyanin content of Prosopis nigra and Prosopis alba pods flour and their antioxidant and anti-inflammatory capacities. Food Research International, 64, 762–771. doi: 10.1016/j.foodres.2014.08.013

R. Re, N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang, C. Rice-Evans, Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay, Free Radic. Biol. Med., 26(9-10), 1231-1237 (1999).

Singleton, V. L., Orthofer, R., Lamuela-Raventos, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. MethodsofEnzymology, 299, 152-178.

Torresă Carro, Romina; Ana, Yamile; Rojasă Márquez, Jorge David; Stempin, Cinthia Carolina; Zampini, Iris Catiana; Isla, María Inés; Alberto, María Rosa (2019). Argentinean Puna Plants with In Vitro Antioxidant and Antiă Inflammatory Activities as a Potential Nutraceutical. Journal of Food Science, (), 1750-3841.14957–. doi:10.1111/1750-3841.14957.

W. Brand-Williams, M.E. Cuvelier, C. Berset, Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity, LWT – Food Sci. Technol., 28(1), 25-30 (1995).

Efecto de la alimentación en la calidad de canales y carne de cabritos producidos en Santiago del Estero

Ruiz, Silvana C.[1];Córdoba, Alicia[1]; Álvarez, Cecilia[1]; Contreras, Marcelo[1]; López, Lurdes A[2];Prieto Rebottaro, Juan P.[2]; Cruz, Nara J[2];Martínez, Sandra L.[2]

(1) Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Santiago del Estero.
ruiz.silvana@inta.gob.ar; cordoba.beatriz@inta.gob.ar; alvarez.cecilia@inta.gob.ar; contreras.marcelo@inta.gob.ar.

(2) Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero.
sandraluz08@gmail.com

RESUMEN

En Santiago del Estero, la producción caprina es relevante para la agricultura familiar, por el aporte que representa para su economía. Existe información relacionada a la producción y manejo caprino, peropoco se conoce de la calidad de carne en diferentes sistemas de manejo. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la calidad de canales y carnes en animales recién destetados de 4/5 meses, bajo dos prácticas de alimentación: con microsilos de Buffel grass y vainas de *Prosopis alba*, en corral; y otros en sistema silvopastoril. Se evaluó la calidad de las canales mediante el registro de pesos: vivo, canal caliente, fría; rendimiento de faena, medidas e índices de la canal, y pH 45 min y 24 h post faena. Para calidad de la carnese determinó la capacidad de retención de agua, color instrumental y perfil de textura (dureza, elasticidad y masticabilidad). Los resultados indicaron que los animales procedentes del sistema silvopastoril presentaron mejores parámetros de calidad de la canal: peso de la canal caliente y fría, rendimiento de faena, longitud interna de la canal, índice de compacidad y pH 24 h post faena. En la calidad de la carne, se registró menor dureza en animales procedente de microsilos.

Palabras clave: producción caprina – calidad de la canal – calidad de carne – Santiago del Estero.

ABSTRACT

Goat production is relevant for family farming in Santiago del Estero, due to its contribution to these family. There is information about production and management, but little is known about meat quality in different management systems. The objective of this study was to evaluate the carcasses and quality in recently weaned animals 4/5 months old, under two feeding practices: with micro- silos of Buffel grass and Prosopis alga pods, in the corral; and others in the silvopastoral system. The carcass quality was evaluated by recording: live, hot, and cold carcass weight, slaughter yield, measures and carcass índices, and pH at 45 minutes and 24 h post slaughter. The water retention capacity, instrumental color, and texture profile (hardness, elasticity, and Chewiness) were determined for meat quality. Results indicated that the silvopastoril animals presented better carcass quality parameters: hot and cold carcass weight, slaughter yield, internal length carcass, compactness index and pH 24 h post slaughter. In meat quality, lower hardness was recorded from animals from microsilos.

Keywords: goat production- carcass quality- meat quality- Santiago del Estero.

1. INTRODUCCIÓN

La producción caprina en Santiago del Estero es una de las actividades de mayor importancia para la provincia, la producción de carne y leche, constituye un aporte importante para la alimentación yel ingreso de la agricultura familiar.

En Santiago del Estero los sistemas de producción caprina típicos se basan en el pastoreo directo del forraje del monte, como hojas, brotes y frutos de árboles y arbustos nativos, pasturas naturales, a lo que se suele sumar la implantación de pasturas megatérmicas como el Gatton panic (*Megathyrsius maximun*) o Buffel grass (*C. ciliaris*) (Ruiz, 2021). Otrotipo de alimentación se realiza mediante raciones individuales, por lo general de alfalfa y maíz (Ruiz 2021), o bien el uso de microsilos utilizados como una forma de conservación de forrajes, y alternativa de alimentación en épocas de escasa oferta forrajera (Palacios Hualca *et al.,* 2012).

Existen diferentes factores que influyen en la calidad de las canales y carnes del ganado, entre los que se encuentran el tipo de alimentación ofrecida, manejo pre- faena, edad, entre otros (Ripoll García, 2020). Algunos de los parámetros utilizados para evaluar la calidad de las canales son: peso de los animales pre- faena (PV_{pref}), peso de las canales calientes (inmediatamente después de la faena: PCC), peso de las canales oreadas o frías (PCF), pérdidas por oreo (PPO), rendimiento de faena (RTO), pH (Ruiz, 2021). Otra característica importante de las canales es su conformación, que la describe en términos generales e incluye la distribución y proporción de las diferentes partes que forman la canal. Si bien, en la Argentina no existe un sistema vigente de clasificación de canales caprinas (Zimerman, 2011), una forma de caracterizar las canales es mediante el uso de medidas e índices, dentro de los cuales se encuentran: perímetro de grupa (B), ancho de tórax (Wr), ancho de grupa (G), longitud de la pierna (F), longitud interna de la canal (L), profundidad de tórax (Th), índice de compacidad de la pierna (G/F) e índice de compacidad de la canal (ICC), (Ruiz de Hudiobro, *et al.,* 2005).

Por otro lado, la calidad de la carne se evalúa mediante otros parámetros, entre los que se encuentran: el color, uno de los más importantes, y es el que el consumidor tiene en cuentaal momento de adquirir la carne (Russell *et al*., 2005);la capacidad de retención de agua (CRA), utilizado para medir la habilidad que tiene el músculo de retener agua, muy relacionado con la jugosidad de la carne. Este parámetro también tiene influencia en la textura de la carne (Fuentes Lopez *et al*., 2013).

El objetivo del presente trabajo es evaluar la calidad de canales y carnes en animales caprinosrecién destetados, bajo dos distintas prácticas de alimentación.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Descripción del ensayo

El ensayo de manejo y producción se realizó en el campo Experimental Francisco Cantos (CEFC), del INTA Santiago del Estero, donde se trabajó con cabritos de entre 4 y 5 meses de edad alimentados durante 60 días, en el período de julio- agosto, mediante dos sistemas: uno donde los animales permanecieron en corral y recibieron raciones diarias de microsilos elaborados con Buffel grass (*Cenchrus ciliaris*) y vainas de Algarrobo blanco y negro (*Prosopis alba* y *P. nigra*); y otro en sistema silvopastoril en potrero con pastoreo directo y a voluntad, y con una ración de vainas de Algarrobo blanco y negro. La alimentación en este tratamiento nutricional, procede de forrajes de la vegetación del bosque nativo, donde predominan las especies Mistol (*Zyzhipus mistol*), Tusca (*Acacia aroma*), Algarrobo blanco (*Prosopis alba*), Algarrobo negro (*Prosopis nigra*), Quebracho colorado (*Schinopsis balansae*), Quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-* blanco), Brea (*Cercidium australe Johnston*), Garabato (*Acacia praecox* Griseb), Vinal (*Prosopis ruscifolia* Griseb); enriquecido con Gatton panic (*Megathyrsius maximun*) y Buffel grass (*C. ciliaris*).

Este ensayo de alimentación se realizó de manera exploratoria, en época de baja oferta forrajera (julio-agosto), utilizando como alternativa forrajera microsilos elaborados con Buffel grass y frutos de algarrobo durante el período febrero – junio y que se estacionaron como mínimo 45 días para su posterior uso.

2.2 Evaluación de la calidad de canales

Se seleccionaron 3 animales de cada tratamiento nutricional. Se registró el PV_{pref} de los animales, los que fueron faenados en establecimiento habilitado. También se registró el PCC, PCO (24 h post faena), PPO (diferencia entre PCC y PCF) y RTO de faena, ecuación (1).

$$RTO = \frac{PCC}{PV\ pref} * 100 \quad (1)$$

Por otro lado, luego de 24 h post faena, se evaluó el grado de conformación, a través de las medidas e índices de las canales de acuerdo la metodología descrita por Ruiz de Hudiobro *et al.,* (2005):

- Perímetro de la grupa (B): realizado a nivel de los trocánteres de ambos fémures. Medida correlacionada con el peso del tejido muscular y estimador de la proporción de grasa de la canal.
- Ancho de grupa (G): ancho máximo entre los trocánteres de ambos fémures. Medida correlacionada con el peso de la canal.
- Ancho de tórax (Wr): ancho máximo entre costillas.
- Longitud de la pierna (F): distancia entre el punto más caudal del periné y el punto más distal de la superficie articular tarso-metatarsiana.
- Longitud interna de la canal (L): distancia entre el borde anterior de la sínfisis isquio- pubiana y el borde anterior de la primera costilla.
- Profundidad del tórax (Th): distancia entre el esternón y el dorso de la canal a nivel de la 6° vértebra torácica.
- Índice de compacidad de la canal (ICC): cociente entre el PCF y L.
- Índice de compacidad de la pierna (ICP): cociente entre G y F.

También se evaluó el pH a los 45 minutos y a las 24 h post faena. Esta determinación se realizó en el músculo *Longuissimus dorsi* (LD) de la media canal izquierda entre la 4° y la 5° vértebra lumbar siguiendo la metodología descrita por Garrido *etal.,* (2005).

2.3 Evaluación de la calidad de la carne

Para evaluar la calidad de la carne, 24 h post faena, se separó de cada canal, las medias canales izquierdas, en la sección correspondiente al músculo LD ubicado entre la 6° vértebra toráxica y la 6° vértebra lumbar.Todas las determinaciones se realizaron sobre esta sección, y sobre las medias canales izquierdas de cada animal (estandarizado según metodologías).

2.3.1 Capacidad de retención de agua

Se determinó sobre una muestra tomada a la altura de la 6° vértebra toráxica, por el método del "Jugo exprimible de la carne cruda", siguiendo la metodología descrita por Pla Torres (2005).

2.3.2 *Color instrumental*

Se determinó sobre muestras tomadas a la altura de la 1° vértebra lumbar, utilizando colorímetro portátil (Minolta Modelo CR-350), con iluminante C, siguiendo la metodología descrita por Alberti *et al.* (2005). El equipo se calibró en el sistema de espacio de color CIELab utilizando un plato de calibración blanco, donde el valor L* indica luminosidad (L*= 0 negro, L*= 100 blanco), el valor a* indica porcentaje de saturación con rojo (-a*= verde, +a*= rojo), y el valor b* indica porcentaje de saturación con amarillo (-b*= azul, +b*= amarillo). La medición de color se realizó luego de realizar el corte y con un tiempo de oxigenación de 30 min (blooming time).

2.3.3 *Perfil de textura*

Se determinó en muestras de LD tomadas entre la 6° y 13° vértebra toráxica. Las mismas se cocinaron en un grill de doble contacto a 180°C hasta alcanzar 70°C en el centro térmico de la carne medido con un termopar digital tipo "K" con punta de acero inoxidable (modelo 305, Rosario- Argentina), siguiendo las recomendaciones generales de la AMSA (American Meat Science Association, 2012).En forma perpendicular a la fibra de la carne se tomaron las muestras para las determinaciones del perfil de textura(Fig 1), utilizando un texturómetro TA.XT Plus (Stable Micro Systems, UK) con software Exponent Stable Micro System, empleando una sonda de compresión cilíndrica de 40 mm de diámetro (Fig 2).
Las variables del perfil de textura registradas y las que se tienen en cuenta para evaluar la textura de la carne cocida fueron dureza, elasticidad y masticabilidad.

Figura1: Obtención de las muestras para determinaciones de textura

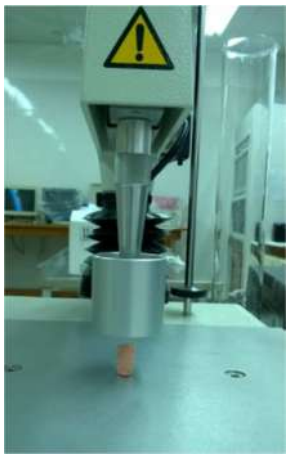


Figura 2: Determinación del perfil de textura.

2.4. Análisis Estadístico

Se trabajó con un diseño completamente aleatorizado. La comparación de medias se realizó a través de un análisis de varianza, en donde el objeto de estudio fue la dieta de los animales: silvopastoril y estabulados o confinados a corral, utilizando el modelo estadístico, que muestra la ecuación 2:

$$Yi = \mu + Ai + \varepsilon i \quad (2)$$

Donde:
Yi es una variable aleatoria que representa al conjunto de valores posibles de la variable dependiente correspondiente al i-ésimo nivel del efecto A.
μ es la media general
Ai es el efecto dieta de los animales correspondiente al nivel i-ésimo del factor *A* (*i:* 1, 2).
εi es el error o residuo del modelo.
Las diferencias se consideraron significativas para valores de p< 0,05. Para el análisis de datos se utilizó el software estadístico InfoStat (Di Renzo et al., 2017).

3.RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. Evaluación de calidad de canales

Los resultados obtenidos del análisis realizado a través de los parámetros de calidad de canales se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de evaluación de Calidad de Canales de cabritos producidos en Santiago del Estero

	Microsilos	Silvopastoril	*p*- valor
PV	10,14±1,88	13,04±0,56	0,0625
PCC	3,38±0,85	5,03±0,46	0,0422
RTO (%)	33,09±2,17	38,5±1,92	0,0319
PCF	3,25±0,85	4,87±0,49	0,0459
L	44,17±4,01	51,33±2,31	0,0551
F	29±1,00	31±1,00	0,0705
B	12,67±2,52	12,83±0,29	0,9148
Wr	14,33±0,76	15,33±1,53	0,3679
G	15,67±1,26	14,33±2,31	0,4295
Th	18,67±1,15	19,83±0,76	0,2182
ICC	0,07±0,01	0,1±0,01	0,0538
ICP	0,54±0,06	0,46±0,06	0,1626
pH 45 min	6,89±0,22	6,79±0,39	0,7033
pH 24 h	6,81±0,20	5,90±0,32	0,0142

Datos expresados como media ± desviación estándar. Valores con $p < 0,05$ son significativamente diferentes.

En la Tabla1 se puede observar que el tipo de alimentación ofrecida a los animales influyó en algunos parámetros utilizados para evaluar la calidad de las canales. En este sentido, se encontraron diferencias significativas ($p<0,05$) en el PCC, RTO, PCF, L, ICC y pH tomado a las 24 h post faena, con valores mayores en canales procedentes de animales alimentados en silvopastoril.

Los valores obtenidos de pH a las 24 h post mortemno se encuentran dentro del rango óptimo

de pH en rumiantes (5,5- 5,7), (Domingo *et al.,* 2009). Sin embargo, en un trabajo realizado previamente se pudo observar que las canales procedentes de animales alimentados en corral tienden a presentar valores de pH finales mayores que aquellas procedentes del silvopastoril (Ruiz, 2021). Por otro lado, también es importante tener en cuenta que la carne procedente de caprinos tiene una tendencia a presentar valores de pH final elevado, ya que son animales susceptibles al estrés pre- faena (Casey y Webb, 2010; Lemes *et al*., 2011; Zimerman *et al*., 2018).

3.2. Evaluación de calidad de carne

Los resultados obtenidos del análisis realizado a través de los parámetros de calidad de carne se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2.Parámetros de evaluación de Calidad de Canales de cabritos producidos en Santiago del Estero

	Microsilos	Silvopastoril	*p*- valor
CRA	37,20±9,60	33,47±6,25	0,2712
L*	45,36±3,29	43,01±4,12	0,2416
a*	16,55±2,57	16,37±2,91	0,9009
b*	3,64±1,01	3,57±1,02	0,8996
Dureza (N)	4,62±0,85	6,03±1,48	0,0488
Elasticidad	0,31±0,07	0,27±0,04	0,2106
Masticabilidad	70,76±24,45	74,72±36,00	0,8143

Datos expresados como media ± desviación estándar. Valores con $p < 0,05$ son significativamente diferentes.

Los resultados presentados en la Tabla 2 indican que el tipo de alimentación solamente influyó significativamente en la dureza de la carne *p* (0,488) presentando mayor dureza las carnes procedentes de animales del silvopastoril. Esta diferencia obtenida entre tratamientos se podría atribuir al tipo de alimento ofrecido a los animales en ambos sistemas, que si bien en los dos casos el alimento fue similar, la diferencia manifiesta que los animales del silvopastoril se alimentaron con forraje disponible durante el periodo de producción julio - agosto época donde la calidad del mismo es baja y escasa, mientras que los animales dispuestos en corral se alimentaron con raciones diarias de microsilos, elaborados con pastos obtenidos en épocas de buena calidad de forraje: enero-junio, resultado que no concuerdan por lo encontrado por Carrasco *et al*.; (2007), quienes indicaron que las carne de cordero criado en pastizales resultó ser más tierna (menor dureza), debido a un mayor desarrollo miofibrilar y menor proporción relativa de colágeno acumulada en el músculo. Asimismo, el análisis de la Tabla 2 revela que no se encontraron diferencias en la CRA de la carne procedentes de ambos sistemas de alimentación: corral y silvopastoril, aunque los valores de las provenientes de alimentación sistema a corral presenten un valor numéricamente mayor. Se observa una diferencia no significativa también en los parámetros, de color en general. Sin embargo es posible advertir que los parámetros L* y a* presentan ligeras diferenciassegún el sistema de alimentación del cual proceden así, la carne del silvopastoril presenta menor valor de L* y de a* que la procedente de la alimentación a corral, resultados que condicen parcialmente conlo encontrado por Ruiz (2021).

4. CONCLUSIONES

En lo que a la calidad de canales se refiere, en animales bajo un manejo en sistema silvopastoril, se obtuvieron valores significativamente superiores en ciertos parámetros como: PCC, RTO, PCF, L, ICC y pH 24 h post faena, en comparación con el manejo a corral, pese a recibir un alimento de baja calidad. Sin embargo, en la evaluación de calidad de carne los parámetros como: CRA, color, masticabilidad y elasticidad no se vieron influenciados. Por otro lado, se destacan las diferencias registradas en la dureza de la carne, siendo menos dura aquella procedente de animales alimentados con microsilos a corral.
Este ensayo fue exploratorio, y se podrían ajustar aún más las dietas de manera de mejorar y optimizar la calidad de las canales y carnes de cabritos producidos en Santiago del Estero, buscando potenciar diferentes alternativas de manejo para las distintas épocas de producción.

5. AGRADECIMIENTOS

La investigación que da origen a los resultados exhibidos en la presente publicación recibió fondos para su ejecución procedentesdel Proyecto

"Uso de microsilos de pasturas megatérmicas con frutos de algarroba y de semilla de algodón como suplementación estratégica de las majadas caprinas en sistemas productivos de Santiago del Estero" En el marco de Proyectos Federales de Innovación- PFI 2021. Financiados por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación Argentina la convocatoria proyecto federal de inversión - 2021.
Se agradece al Instituto de Ciencia y Tecnología de la Facultad de Agronomía y Agroindustrias por permitir el uso de sus instalaciones de los Laboratorios Centrales del Zanjón para realizar las determinaciones de la Calidad de carne.

6.REFERENCIAS

Alberti, P., Panea, B., Ripoll, G., Sañudo, C., Olleta, J. L., Hegueruela, I., Campo, M. M. y Serra, X. (2005). *Medición del color.* En: Cañeque, V y Sañudo. C. (Eds.), Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes. Monografías INIA, Madrid, España, Serie Ganadera N° 3, 216-225.

American Meat Science Association (AMSA) (2012). *Meat color measurement guidelines*. Section VII: visual- color scoring scales. 35-42.

Carrasco, S., Panea, B., Ripoll, G., Alvarez Rodríguez, J., Sanz, A., Joy, M. (2007). *Efecto del Sistema de manejo sobre la textura y el análisis sensorial de la carne de cordero de Raza Churra Tensina*. Research Gate. Disponible en: https:/www.researgate.net/publication/236888183

Casey, N. H., Webb, E. C. (2010). *Managing goat production for meat quality*. Small Ruminant Research, 89, 218–224.

Di Rienzo, JA, Casanoves, F, Balzarini, MG, Gonzalez, L, Tablada, M, Robledo, C. W. *InfoStat version 2017*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Domingo, E., Zimerman, M. (2009). *Tecnología de Carne Caprina.* Memorias del curso de Actualización en producción caprina, 165-177.

Fuentes López, A. García Martínez, E., Fernandez Segovia, I. (2013). *Determinación de la capacidad de retención de agua (CRA). Método de prensado.* Departamento de Tecnología de Alimentos, Universidad Politécnica de Valencia.

Garrido, M. D., Bañón, S., Alvarez, D. (2005). Medida de pH. En: Cañeque, V y Sañudo. C. (Eds.), *Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes*. Monografías INIA, Madrid, España, Serie Ganadera N° 3, 206- 215.

Lemes, J. S., Osorio, M. T. M., Osorio, J. C. S., Borba, M. F., Macedo, R. F., Martins, L., Resconi, V. (2011). *Calidad de carne de caprinos de Alto Camaqua (Brasil) de diferentes edades.* XIX Jornadas sobre producción animal. Tomo II, 694-696.

Palacios Hualca, D. M., Rodríguez I., L. F., Clavijo, F. y Godoy, A. (2012). *Determinación de la calidad nutritiva de mezclas forrajeras y frecuencias de aprovechamiento en microsilos.* Quito, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Programa de Ganadería. Disponible en: http://repositorio.iniap.gob.ec/jspui/handle/41000/1013

Pla Torres, M. (2005). Capacidad de retención de agua. Cañeque, V. y Sañudo. C. (Eds.), *Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes*. Monografías INIA, Madrid, España, Serie Ganadera N° 3, 243-250.

Ripoll García, (2020*). Valoración sensorial e instrumental de la carne de cabrito lechal.*Tesis Doctoral. Disponible en: https://idus.us.es/handle/11441/100160

Ruiz, S. C. (2021). *Aplicación de antioxidantes naturales procedentes de especies nativas del chaco semiárido en la preservación de carne refrigerada de pequeños rumiantes*. Doctoral dissertation, Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Disponible en: https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/11688

Ruiz de Huidobro, F., Blázquez, B., Miguel, E., Onega, E. (2005). *Metodología para la descripción de la calidad de la canal y carne de cabrito lechal.* Research Gate Alimentaria, 32

pag. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Felipe_Ruiz_de_Huidobro/publication/272173768_METODOLOGIA_PARA_LA_DETERMINACION_DE_LA_CALIDAD_DE_LA_CANAL_Y_DE_LA_CARNE_DEL_CABRITO_LECHAL/links/578dfb1608ae81b4466eb166.pdf

Russell, B. C., McAlister, G., Ross, I. S., Pethick, D. W. (2005). *Lamb and sheep meat eating quality industry and scientiif issues and the need for integrated research*. Australian Journal of Experimental Agriculture, 45, 465-467.

Zimerman, M., Grigioni, G., Taddeo, H., Domingo, E. (2011). *Physiological stress responses and meat quality traits of kids subjected to different pre- slaughter stressors*. Samall Ruminant Research, 100, 137-142.

Zimerman, M., Saldaño, S., Ruiz, S., Méndez, R. E., Fernández Salom, M. J., Bottegal, D., Martinez, S. (2018). *Calidad de las canales de Cabritos Criollos del Sur Tucumano. Información preliminar.* Comunicación. 41º Congreso Argentino de Producción Animal.

Utilización de *Opuntia*spp. en la ración de cabras lecheras. Estudio de la producción y composición láctea.

Salinas, Florencia[1]; Díaz, Williams[1]; Moreno Fernández, Camila[1]; Leguizamón Carate, Jorge Nelson[2].;Sayes, Romina[1];Frau, Florencia[1]

(1) Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero. salinasflorencia087@gmail.com.

(2) Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Santiago del Estero.

RESUMEN

*Opuntia*spp. es utilizada especialmente en épocas de sequías ya que sueleser la única fuente de agua y forraje y si bien proveen de agua a los animales, no reemplazan las fuentes naturales yson pobres en proteínas. Por este motivo, se estudió su incorporación en la ración de cabras lecheras para evaluar su consumo, producción y composición de la leche. El estudio se realizó en un tambo caprino con una majada de 127 cabras. Se trabajó con dos grupos de cabras seleccionadas (n=16). El grupo "tradicional" recibió alfalfa+ maíz+ pastoreo en monte natural y el grupo "alternativo" recibió alfalfa+ *Opuntia*spp. + pastoreo en monte natural. Los promedios generales de la producción láctea de ambos grupos fueron similares, con una curva de producción ascendente. La composición físico-química de la leche, también arrojó resultados similares entre ambos grupos. La introducción de *Opuntia*spp. es una alternativa económica y al alcance de los pequeños productores caprinos, que permite sobrellevar épocas críticas sin alterar la producción láctea.

ABSTRACT

The *Opuntia* spp. is used especially in times of prolonged drought, since they are usually the only source of water and fodder. Although they provide water to the animals, they do not replace natural sources and, furthermore, they are poor in protein. For this reason, its incorporation into the ration of dairy goats was studied to evaluate its consumption, total production and milk composition. The study was carried out in a goat farm with a flock of 127 goats that enter milking simultaneously. We worked with two groups of selected goats (n=16 total). The "traditional" group received the diet that is commonly used in the dairy (alfalfa + maize + grazing in natural forest) and the "alternative" group received the incorporation of Prickly Pear leaves (alfalfa + *Opuntia* spp. + grazing in natural forest). The general averages of milk production of both groups were similar, with an ascending production curve. The physical-chemical composition of the milk also showed similar results between both groups. Therefore, it´s concluded that the introduction of *Opuntia* spp. It´s an economic alternative and within the reach of small goat producers, which allows them to cope with critical times without altering milk production.

Palabras claves: cabras- *Opuntia*spp. – tambo caprino- alimentación

Keywords:goats- *Opuntia* spp. – goats farm- feeding

1. INTRODUCCIÓN

Según la FAO (Food and AgricultureOrganizationCorporateStatisticalData base) la ganadería es un pilar muy importante para el desarrollo de la agricultura. La misma, colabora con la seguridad alimentaria y nutrición de las personas, atenuando la pobreza y permitiendo un crecimiento económico. Utilizando buenas prácticas, el sector agrícola puede reducir el impacto ambiental y utilizar los recursos de manera más eficaz.

Dentro de la ganadería en general, la especie caprina fue una de las primeras en domesticarse. Esto puede deberse a varios factores; por un lado, es una especie adaptada a geografías y climas extremos; a consumir diversos forrajes (tanto herbáceos como leñosos), ya que presenta características anatómicas y fisiológicas que le permiten acceder a los arbustos como también, a los estratos superiores. Presentan un comportamiento alimenticio flexible y oportuno, aprovechando forrajes de baja calidad en las épocas más críticas(estaciones invernales y secos en lo que se refiere a lluvias) y ejerciendo una presión de selección sobre las especies vegetales más palatablesy disponibles en el área de pastoreo (Jiménez *et al.,* 2013).

Por otra parte, la producción caprina lespermite a los productores obtenercarne, leche y fibras para el autoconsumo y venta, como también, subproductos (cueros y guano como fertilizantes)y derivados lácteos; productos de gran valor para las familias rurales. De esta manera, el caprino sirve de soporte económico a pequeños productores y poblaciones marginales, siendo parte de diversas culturas (Jiménez *et al.,* 2013).

La ganadería caprina es uno de los recursos más importantes en la provincia de Santiago del Estero para el sector de la agricultura familiar. Como ya se ha mencionado, la adaptabilidad de esta especiea climas variados y condiciones de manejo, sumado a la posibilidad de obtener leche diariamente, hacen de la cabra un animal sumamente elegidopor los pequeños productores para mejorar su nivel de vida (Paz, 1996).

Las explotaciones caprinas dedicadas a la producción láctea en Santiago del Estero se caracterizan por sermuy pequeñas, con bajo nivel tecnológico e insuficiente inversión. El sector lechero caprino está compuesto en su mayoría por microempresas donde predomina la mano de obra familiar (Pece *et al.,* 2017).

Según autores como Paz *et al.,* (2009) y Pece *et al.,*(2017) la cuenca lechera está conformada porlos Departamentos Banda, Robles, Capital sur y Silípica norte,con una superficie aproximada de 900 km^2. Dentro de esta área, existen 60 tambos de pequeños productores y tres fábricas, que presentaban para el año 2009, una producción total de 196.000 L. Además, existe la producción lechera dentro del departamento RíoHondo,la cual se dedica a la elaboración artesanalde quesos y su comercialización. Se presume que, el 82% de la producción de la cuenca está compuesto por explotaciones campesinas y el 18% restante sonpequeñasempresas que se caracterizan por poseer rasgos de explotación familiar capitalizada y capitalista (Paz,*et al.,* 2002).

En cuanto a la leche caprina, es una materia prima muy buscada por los consumidores ya que presenta virtudes específicas, tales como: la grasa, que es fácilmente asimilable comparada con la leche bovina, porque sus glóbulos grasos presentan un tamaño reducido y su cadena de ácidos grasos más corta. Entre los minerales que abundan se destacan el calcio y el fósforo. La fracción proteica aporta aminoácidos esenciales de alto valor que, además, de cubrir los requerimientos nutritivos, son fundamentales en las etapas de mayor velocidad de crecimiento (Martínez & Suárez, 2019). La leche caprina es considerada un alimento naturalmente funcional, ya que sus nutrientes son de fácil digestión, absorción y puede utilizarse en tratamientos dietoterápicos (Martínez & Suárez, 2019).

Lascaracterísticas fisicoquímicas de la leche talescomo, grasa, proteína y el pH son esenciales durante la elaboración de quesos, principalmenteen las etapas de coagulación, desuerado y maduración (Frau, *et al.,* 2012). El rendimiento de los quesos depende de la composición de la leche caprina,especialmente, de los niveles presentes de grasa y proteína. E relación a esta última, la más importante es la caseína (fosfoproteína que influye en la capacidad de coagulación, tiempo de formación del cuajo y cuajada) (Frau, *et al.,* 2012; Guevara, *et al.,* 2013). Además, lacalidad de la leche depende de sus característicasmicrobiológicas, que pueden afectar lainocuidad de la misma y sus productos derivados. Una elevada carga bacteriológica enla leche de cabraafecta directamente en la vida útil de los productos elaborados y la calidad organoléptica y nutricional de los mismos (Frau, *et al.,* 2012).

El modelo de sistema productivo caprino realizado por pequeños productores, que predomina en la provincia es el extensivo, definido por un manejo de alimentación basadaesencialmente, en el pastoreo a campo abierto, utilizando todos los recursos que provee el monte natural (las especies leñosas y sus

frutos;las arbustivas y los forrajes naturales) (Pece *et al.,* 2017).Este tipo de alimentación (pastoreo), ofrece un ambiente natural que se refleja en el bienestar animal y, además, permite que la leche presente un perfil lipídico más favorable para la salud humana, al poseer mayor cantidad de ácidos grasos insaturados comparado con la leche proveniente de cabras manejadas en sistemas estabulados. De esta forma, la leche de las cabras presenta características particulares que serán trasmitidas luego, a los productos elaborados como los quesos, mejorando su sabor, textura y suavidad (Maldonado, *et al.,* 2017).

La provincia de Santiago del Estero, se encuentra situada casi en su totalidad en la Región chaqueña semiárida (Figura 1). Desde el punto de vista climático, posee un régimen monzónico, donde las precipitaciones se concentran entre los meses de octubre hasta abril, con un promedio anual de 575 mm, determinando una estación húmeda, en la cual abunda la oferta forrajera y, a su vez, una estación seca, con gran escasez de recursos alimenticios que no logra cubrir los requerimientos básicos de una majada. Pese a dicha estacionalidad, el ganado caprino es considerado un recurso pecuario importante en la provincia, donde utilizanlos recursos forrajeros disponibles (Catan & Degano, 2007).

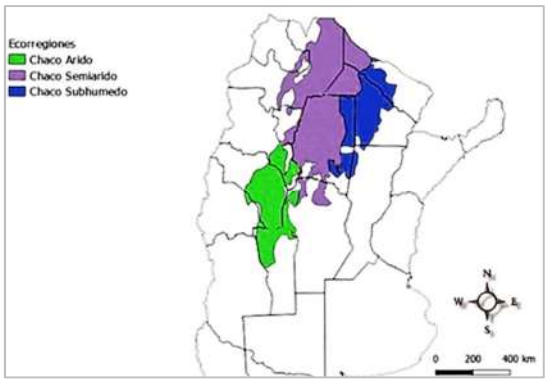


Figura 1: Ecorregiones del Norte Argentino.

Si consideramos los extensos periodos de sequía, seguido de precipitaciones excesivas; las temperaturas extremas y la mínimadisponibilidad de agua que caracterizan a la provincia, se puede deducir los bajos índices de rendimiento de los cultivos,que afectan la salud y el bienestar de los animales, e indirectamente la disponibilidad de alimentos. Por lo tanto, el futuro de las zonas semiáridas y áridas dependen del desarrollo de sistemas agrícolas sostenibles con cultivos adecuados. Dichos cultivos deben ser tolerantes al estrés hídrico, a las altas temperaturas y la baja fertilidad de los suelos (Lozano, 2011).

Una alternativa para paliar las situaciones climáticas extremas es la producción delatuna forrajera (*Opuntia*spp.) Este cultivo es muy popular en diferentes explotacionesganaderas, sobre todo en países como Sudáfrica, Etiopia, Brasil, México y Chile; especialmente en épocas de sequías prolongadas, ya que cumplen el rolde serla única fuente de agua y forraje.Los cladodios son utilizados comoalimento para el ganado bovino y caprino (Ricarte,*et al.* 1998), y en Argentina,es utilizada principalmente en invierno, cuando la provisión de agua para el ganado es limitada (Ochoa de Comelli,*et al.,* 1992). Durante muchos años, se realizaron estudios desu composición química, para ser evaluadacomo recurso forrajero, dondealgunos autores identificaron valores de 85.8% de materia orgánica (MO), un 14.2% de materia seca (MS), donde, a su vez, presentaba un 4.2% de proteína cruda (PC), 7% fibra neutro detergente (FDN) y 3% fibra ácido detergente (FDA) (Azócar, 2000; Urrutia,*et al.,* 2007). De los estudios realizados se deduce que,el uso de la *Opuntia*spp. como un componente económico en la alimentación del ganado caprino, es una buena opción, aun cuando su valor nutricional no se iguale a los nivelesde los otros insumos tradicionales (como alfalfa y maíz) (Urrutia*et. al.,* 2007). Técnicos especializados en alimentación recomiendan incluir un suministro diario de tuna en la dieta de cabras y vacas, ya que se reduce entre un 40 y un 60% el consumo de agua por parte de los animales. La implementación de esta técnica tiene bajos costos y permite destinar el ahorro de agua al consumo humano o para reserva (Smeriglio, 2014). Si bien este recurso no presenta contraindicaciones en la salud de las cabras, la dieta debe integrar,además, otros alimentos como balanceados, maíz o alfalfa, por el bajo nivel de proteínas que aporta esta especie vegetal.Asimismo, los técnicos afirman que la tuna sólo reduce el consumo de agua,pero no la reemplaza, por lo tanto, siempre se debe buscar ofrecer una fuente de agua fresa y saludable, en la medida que sea posible (Smeriglio, 2014).

Debido a que la problemática del agua en los sistemas extensivos caprinos lecheros de la agricultura familiar, de nuestra provincia es constante, se estudió la posibilidad de

implementar la *Opuntia*spp. en la alimentación de una majada caprina para determinar el consumo, la calidad y cantidad de leche producida, como alternativa en épocas críticas.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 *Ubicación y manejo del establecimiento seleccionado*

El estudio se llevó a cabo en el establecimiento "Granja Las Fueguinas" con coordenadas geográficas: 27° de Latitud Sur, 64° de Longitud Oeste. Ubicada en el paraje "El Polear", al este de la ciudad Capital de Santiago del Estero, Departamento Banda, Argentina.

Esta cabaña se dedica a realizar el ordeñe manual para la obtención de leche y producción de quesos de cabra. Actualmente, posee una superficie de 40 hectáreas, las cuales en su mayoría se encuentran provistas de monte natural, donde se destacan: pastizales naturalescomo Cadillo (*Cenchrusmyosuroides*), Yerba del Pollo (*Alternantherapungens*), Ancoche (*Vallesiaglabra*), Afata (*Solanumargentinum*), Potro Huatana (*Malvastrumcoroumandelianum*) y Yuyo Colorado (*Amaranthusquitensis*).Tambiénleñosas como, Mistol (*Zizyphusmistol*), Quebracho Colorado Santiagueño (*Schinopsislorentzii*), Algarrobo blanco (*Prosopis alba*), Algarrobo negro (*Prosopisnigra*), Chañar (*Geoffroeadecorticans*), Piquillín (*Condaliamicrophylla*), Jarilla (*Larrea divaricata*), Ucle(*Cereuscorione*), Talilla (*Celtispallida*) y Vinal (*Prosopisrusifolia*).

El establecimiento realiza un manejo extensivo, con pastoreos diurnos y encierros nocturnos. La cadena forrajera está diseñadacon la base de monte y pasturas naturales ya descriptas, y un suplemento de alfalfa y maízal momento del ordeñe. A consecuencia de la variabilidad en la pluviometría y las temperaturas a lo largo de las cuatro estaciones, el monte brinda una heterogeneidad en la oferta alimenticia, con un exceso de forraje en verano y déficit en invierno por las escasas precipitaciones.

La majada está compuesta por 127 cabras y 3 machos, identificados con caravanas (Allflex®). Dichos animales pertenecen a las cruzas de raza Anglo Nubian con Criollas y otras de raza Saanen avanzada (Salinas,*et al.,* 2017). Gran parte de los cabritos nacidos aquí son intercambiados o vendidos para terminar su crianza en otros establecimientos; los mismosson destetados a los 10 días, ya que la leche es el principal producto buscado para la elaboración de productos artesanales. De todas maneras, un pequeño porcentaje de cabrillas (20%) son criadas con el objetivo de ser utilizadas a futuro, como reposición en la majada.

2.2 *Metodología de trabajo*

El primer paso realizado fue la visita a la unidad de producción para evaluar la majada ycoordinarjunto al productor, la selección de las cabras que participaron del ensayo, y la posterior identificación con pintura y numeración de caravana, para realizar un control individual de cada unidad experimental (hembra). Para formar grupos homogéneos se consideró la edad (determinada mediante la técnica del boqueo o visualización de dientes permanentes) (Tinari*et al.,* 2014)la condición corporal, la salud y la fecha de última parición.

Una vez seleccionadas las hembras caprinas (n=16), se procedió a enumerar del uno al dieciséis cada una y sesepararon al azar,ocho cabras para cada tratamiento, definidos por pinturas de color rojo (control) y azul (alternativo).Se registraron losnúmeros de caravana y se procedió a pintar con aerosol los cuernos y la parrilla costal, para una mejor visualización de cada grupo.

Luego, se realizó la estimación del estado corporal, que consiste en la palpación y observación de diferentes áreas de la cabra para determinar el nivel de cobertura grasa. El puntaje de la condición corporal propuesto por Lowman*etal.,* (1976) y Van Niekerl y Louw (1980) es utilizadohabitualmentede manera subjetiva, para determinar el estado corporal de los animales de cría. Emplea una escala de 5 puntos, donde el puntaje 1 indica un animal extremadamente flaco y el puntaje 5 un animal excesivamente gordo (Bavera, *et al.,* 2005).

Se volcó toda la información recaudada en una planilla de registros como, por ejemplo, la puntuación de la condición corporal de cada cabra y la cantidad de producción individual (Litros) producidos antes de realizar las evaluaciones de las dietas.

Ambos lotes de hembras recibieron un período de acostumbramiento de una semana con la alimentación propuesta. Dicho acostumbramiento consistió en recorrer los nuevos comederos y el trayecto desde la sala de ordeñe hacia el mismo. El horario elegido para suministrar la alimentación fuepor la mañanaluego del ordeñe, para evitar que se produzcansituaciones de estrés en los animales seleccionados, al separarse de la majada general. Al mediodía se dirigían ambos grupos hacia el monte, para brindarles el consumo libre de pasturas de la zona hasta el atardecer,aprovechando al máximo la luz del día.

Alimentación propuesta (Tratamientos)

Se propuso estudiar dos raciones diferentes en cabras lecheras por un período de 45 días (7 semanas). Un grupo (denominado tradicional o control; n=8) se alimentó con la ración brindada en el ordeñe (fardo y maíz) sumado al pastoreo que se realiza habitualmente en el monte natural. El otro grupo (denominado alternativo u objeto de estudio; n=8)se les brindó la ración del ordeñe (sólo alfalfa), con el agregado de cladodios de tuna forrajera, específicamente *Opuntia ficus-indica* L. Mill, más el pastoreo en el monte natural.

• *Tratamiento tradicional (control color rojo): alfalfa (1 kg/animal), maíz (0,5 kg/animal) y monte natural.*

• *Tratamiento alternativo (objeto de estudio/ color azúl): alfalfa (1kg/animal), cladodios de Opuntiaficus-indica* L. Mill *(7.5kg/animal) y monte natural.*

Es necesario destacar que a efectos de acostumbrar a las hembras a las nuevasdietas y evitar trastornos gastrointestinales, en el grupo alternativose realizó un período de acostumbramiento, incrementando paulatinamente la cantidad de cladodios (1k/animal/día)y disminuyendo la proporción de maíz (0,500 gr/animal/día). Asimismo, al final del ensayola alimentación propuesta fue retirada respetando la misma metodología (1k/animal/día).La cantidad máxima de cladodios tolerada por las hembras del tratamiento alternativo fue de 7.5 kilos/animal, ya que, si se aumentaba más la ración, al día siguiente se encontraba remanente en los comederos, considerándose una pérdida de forraje.

Durante el ensayo seevaluó el efecto dela alimentación con *Opuntia*spp., su palatibilidad y aceptación; se compararon las medias de la producción láctea, como también, características físico-químicas de la leche, tales como, el contenido de grasa, proteína y pH.

2.3 *Preparación de los cladodios*

El material vegetativo propuesto en este trabajo (cladodios de *Opuntia ficus-indica* L. Mill,) fueron provistas por la Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Sede El Zanjón, ubicada en ruta nacional 9, Km 1125, Santiago del Estero.Las paletas de *Opuntia*spp. fueron trasladadas hasta el establecimiento para ser almacenadas en el galpón que se encontraba próximo a la sala de ordeñe. Las mismasfueron cortadasconsiderando un tamañoinferior a 16 cm^2(24cm x 4cm aprox.), con el fin de lograruna mejor palatabilidad. Además, esto permitió realizar una correcta limpieza de las superficies, quitando posibles espinas que podrían mantenerse aún en las paletas. Para el proceso decortes se utilizaron un machete y la ayuda de un aro de metal de forma circular, con un diámetro de 40 cm y una altura de 10 cm, que se caracterizó por contar con sus bordes afilados en forma de bisel facilitando aún más la tarea de corte (Figura 2).

Figura 2: Procesado de paletas de Tuna para la ración de cabras lecheras.

Las paletas de *Opuntia*spp. se cortaron todos los díaspor la mañana antes de brindar la ración, evitando la pérdida de humedad de las mismas. Para el pesaje de los ingredientes de las raciones (maíz, alfalfa y paletas de *Opuntia*spp.) se utilizó

una balanza digital hasta 50 kg. (Portable Electronic Scale). Una vez formulada las raciones, las mismasfueroncolocadas en los comederos de iguales características. De tal manera que, una vez finalizado el ordeñe propiamente dicho, ambos grupos fueron redireccionados a los comederos para recibir las raciones propuestas (Figura 3).

Figura 3: Suplementación de las hembras del ensayo.

Llegado el mediodía, se acompañó a las cabras de ambos grupos al monte natural, para que se acoplen a la majada general y realicen el pastoreo.

2.4 *Recolección de muestras y datos*

Los datos se registraron al inicio del ensayo (muestra 0) y semanalmente (los días viernes) durante todo el experimento, hasta finalizar el mismo, el cual tuvo una duración de 45 días. La rutina comenzaba con el ingreso de lascabras a la sala de espera; luego, se las guiabahasta la pasarela elevada de ordeñe. Una vez allí, se procedió a realizar el ordeñe propiamente dicho respetando los pasos del mismo (Salinas, *et al.,* 2019). A cada cabra se limpió la glándula mamaria con agua clorinada (solución compuesta por 2 gotas de lavandina/ litro de agua) con el fin de eliminar la suciedad; se secaron ambos pezones con una servilleta descartable de papel y se realizó el despunte sobre un envase con superficie oscura para una mejor visualización de la leche anormal (leche que presenta grumos, color rosado por presencia de sangre, pus, etc.). Además, se extrajeronmuestras para realizar el California Mastitis Test (CMT) en las cabras seleccionadas para el ensayo,con el objeto de corroborar la sanidad de la leche (Salinas, *et al.,* 2019).

Para evaluar la producción de cada hembra caprina, se ordeñó de manera completa y la leche obtenida fue pesada en una balanza digital. De la producción total de cada animal, se obtuvo una muestra homogénea de 50 mL, la cual fue rotulada y transportada a temperatura de refrigeración para su análisis en la Planta Piloto de Procesamiento de Alimentos (FAyA-UNSE). Todos los datos obtenidos fueron registrados en planillas específicas para su análisis y procesamiento. Una vez en laPlanta Piloto,todas las muestras recolectadas fueron analizadas, obteniendo los datos de Acidez (AOAC, 1990); grasa, proteína, lactosa, sólidos no grasos (SNG), punto de congelación y pH,mediante el analizador de leche ultrasónico Milkotester, modelo Master Pro Touch calibrado con leche de cabra de acuerdo a métodos oficiales (AOAC, 1990) y en concordancia con el INTA Lácteos.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Respecto al consumo de los cladodios de *Opuntia*spp. en el Tratamiento Alternativo (n=8) se obtuvieron los siguientes resultados expresados en la Figura 4.

Figura 4: Evaluación del consumo de cladodios (kg) de *Opuntia*spp.

En dicha Figura se puede apreciar el aumento en kilos de los cladodios de tuna forrajera, a medida que transcurrían los días de ensayo, y a su vez, los mínimos remanentes obtenidos mediante pesajes previos a incorporar la nueva ración del día siguiente. De esta manera, queda asentado la

aceptabilidad de la incorporación de *Opuntia*spp. por parte de las cabras.Sólo se destacan dos situaciones en las que llovió en el predio y las cabras consumieron menos racón.

Además, se analizaron los resultados obtenidos de los controles lecheros, los cuales arrojaron los siguientes datos (Tabla 1):

Tabla 1. Promedios obtenidos del control lechero semanal en el Tratamiento Tradicional y Tratamiento Alternativo.

Semana	Tt. Tradicional (L.)	Tt. Alternativo (L.)
1	5,72	5,41
2	7,99	7,30
3	9,52	8,04
4	8,70	8,39
5	9,33	8,26
6	8,82	8,38
7	8,40	7,29
TOTAL	X=8,40	X=7,29

Los resultados obtenidos del control lechero semanal realizado a todas las cabras seleccionadas para el ensayo, permiten presentar una curva de producción láctea ascendente con promedios similares entre ambos tratamientos (Figura 5).

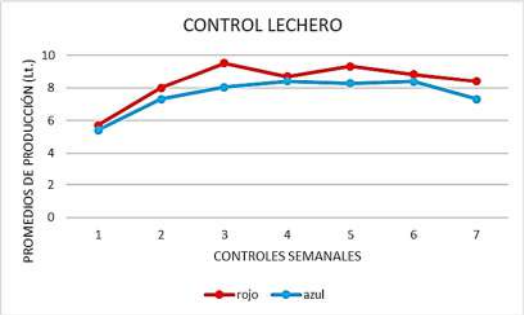


Figura 5: Promedios obtenidos de los controles lecheros semanales.

En la búsqueda bibliográfica se encontró que, Urrutia, *et al.,* (2007) utilizaron*Opuntia*spp. (20%) en la alimentación de cabras en lactación, además, de alfalfa. Allí determinaron que se mejoró el consumo de alimento y la producción de leche, sin estar afectada la digestibilidad de la ración. Pero, cuando utilizaron un 30% de *Opuntia*spp. en la ración, la digestibilidad de la proteína cruda, la fibra neutro detergente y ácido detergente, fue mejor, mientras que el consumo de agua y el tiempo de rumia disminuyeron,a medida que se incrementó el nivel de *Opuntia*spp. en la ración (Urrutia, *et al.,* 2007).

Como también, dichos autores determinaron que existió diferencias significativas en los tratamientos (3 raciones diferentes) (P<0.0001); enel periodo de muestreo (P<0.0001), y en la interacción entre los dos factores (P<0.001).Las cabras que permanecieron encerradas en el corral, presentaron una pequeña tendencia a disminuír la producción total de leche. El grupo de cabras en pastoreo, que no recibieron las pencas, mantuvo la producción de leche relativamente estable, mientras que, en las cabras suplementadas con *Opuntia*spp. la producción se incrementó rápidamente, hasta llegar a una producción de 300 ml de leche en dos semanas de ensayo.

Sánchez,*et al.,* (2006), también estudiaron la suplementación de *Opuntia*spp. en cabras en un ensayo de 75 días, en el cual incorporaron, además, de la tuna, un porcentaje de urea para compensar el bajo nivel proteico presente en las pencas. En dicho trabajo, también se obtuvo un aumento de la producción de leche en el grupo de cabras suplementadas con *Opuntia*spp. de 112 ml/cabra, respecto al grupo no suplementado.

Si bien en este trabajo no se ve reflejado un aumento exponencial transformados en Litros de leche producida de forma individual, se obtuvo una curva ascendente muy similar entre ambos grupos estudiados.

Como bien se detalló anteriormente, se realizaron los análisis de la calidad físico-química de la leche de ambos grupos, donde los promedios de las mismas no presentaron diferencias (Tabla 2). Incluso, existen parámetros que arrojaron resultados iguales.

Tabla 2. Calidad Físico-química de la leche de cabra del Tratamiento Tradicional y el Tratamiento Alternativo.

	Tt. Tradicional	Tt. Alternativo
Grasa	6,1%A	5,4%A
SNG	9,2%	8,9%
Densidad	1,1 g/ml	1g/ml
Proteína	4,2%A	4,1%A
Lactosa	4%	3,9%
Sales	0,9	0,9
pH	6,5	6,6

De la bibliografía estudiada existen diversos trabajos para su comparación, donde se incorpora la *Opuntia*spp. dentro de la alimentación caprina, con resultados generales de la producciónláctea total (ml/cabra), pero no se encontraron investigaciones que detallen la calidad físico-química específica de la leche caprina con la alimentación a base de *Opuntia*spp.

4 CONCLUSIÓN

De este trabajo se puede realizar la recomendación deincorporar la *Opuntia*spp.,como parte de la ración de las majadas caprinas dedicadas a la producción láctea, ya que presenta una gran aceptación por parte de los caprinos y, además, permite mantener, e incluso, aumentar la productividad de las mismas, en períodos del año críticos, ya sea por la falta de agua, temperaturas extremas o durante las sequías. Se considera una fuente ricaen agua que, permite su crecimiento y desarrollo en climas áridos y desérticos; sin necesidades de cuidados específicos. Por lo tanto, es una alternativa viable para los pequeños productores caprinos de nuestra provincia; de bajo costo, sin necesidad de mano de obra. La incorporación de la *Opuntia*spp. permitiría a los productores de la región, prolongar el periodo de producción de leche, más allá de la estación de mayor disponibilidad de forraje, que finaliza, generalmente, con las primeras heladas.Asimismo, los resultados físico-químicos obtenidos permiten deducir que la leche será de buena calidad, para luego ser utilizada en la elaboración de diversos productos artesanales.

5 AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la desinteresada colaboración y participación del productor Francisco González y su personal, colaborando con las tareas, como corte de *Opuntia*spp. y suministro de ración en los comederos. Como también, las Instituciones de la UNSE (Universidad Nacional de Santiago del Estero-Sede Zanjón) donde se obtuvieron las pencas de Tuna forrajera para el ensayo y la Planta Piloto del Parque Industrial, donde se desarrollaron los análisis de laboratorio.

6 REFERENCIAS

AOAC. (1990). *Official methods of analysis of the AOAC.* 15th ed. Methods 932.06, 925.09, 985.29, 923.03. Association of official analytical chemists. Arlington, VA, USA. Recuperadoel 17 de Abril del 2023. https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac.methods.1.1990.pdf

Azócar, P. (2000). *Utilización de paletas de tuna en la alimentación de rumiantes.* Sitio Argentino de Producción animal. Recuperado el 17 de Abril del 2023. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/Tuna/78-paletas_de_tuna.pdf

Bavera, G. A., Peñafort, C. (2005).*Condición Corporal*. Cursos de Producción Bovina de Carne, FAV UNRC.Recuperado el 17 de Abril del 2023. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/cria_condicion_corporal/52-condicion_corporal_cc.pdf

Catan, A., & Degano, C. (2007). *Composición botánica de la dieta de caprinos en un bosque delChaco semiárido (Argentina).* Quebracho (Santiago Del Estero), 14(14), 15–22.Recuperado el 17 de Abril del 2023. https://www.researchgate.net/publication/237035445_Composicion_botanica_de_la_dieta_de_caprinos_en_un_bosque_del_Chaco_semiarido_Argentina

FAO (Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database). Recuperado el 17 de Abril del 2023. https://www.fao.org/livestock-environment/es

Frau, F., Font de Valdez, G., Paz, R., Pecce, N. (2012). *Composición fisicoquímica y calidad microbiológica de leche de cabra producida en la provincia de Santiago del Estero (Argentina).* Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. Recuperado el 17 de Abril del 2023.https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/23846/CONICET_Digital_Nro.3600eed2-a50a-415f-b22b-348d834034c3_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Guevara, L. A., Cuartas, D. A., Llano, F. (2013). *Kappa caseína de la leche: aspectos bioquímicos, moleculares, productivos y nutricionales.* Revista médica Risaralda vol.20 N°1. ISSN 0122-0667. Recuperado el 17 de Abril del 2023.http://www.scielo.org.co/pdf/rmri/v20n1/v20n1a07.pdf

Jiménez, M. del R., Varela, D. B., Partida De la Peña, J. A., Rodríguez, R. H. A., Simental, S.

S., Torres Cardona, M. G. (2013). *Evaluación de la calidad en la canal caprina* (Issue 4).Recuperado el 17 de Abril del 2023. https://www.academia.edu/15078900/Evaluacion_de_la_Calidad_en_la_Canal_Caprina

Lozano, L. 2011. Cactus pearecophysiology. Horticultura Argentina. *Ecofisiología de la tuna (Opuntia ficus-indica (L.) Mill.)*30:37-52.Recuperado el 17 de Abril del 2023. Lozano, L. 2011. Cactus pearecophysiology. Horticultura Argentina 30:37-52.C:/Users/Florencia/Downloads/Ecofisiología%20de%20la%20tuna%20(Opuntia%20ficus-indica%20(L.)%20Mill.).pdf

Maldonado, J. A., Granados, L. D., Hernández, O., Pastor, F. J., Isidro, L., Salinas, H., Torres, G. (2017). *Uso de un alimento integral como complemento a cabras locales en pastoreo: respuesta en producción y composición química de la leche*. Nova scientia vol.9 no.18. ISSN 2007-0705. Recuperado el 17 de Abril del 2023. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052017000100055#:~:text=Por%20tanto%2C%20si%20se%20quiere,en%20la%20producci%C3%B3n%20de%20leche.

Martínez, G. M., Suárez, V. H. *Lechería Caprina: producción, manejo, sanidad, calidad de leche y productos.*1ª. Edición. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Ediciones INTA. Libro digital, PDF. Recuperado el 17 de Abril del 2023. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_lecheria_caprina.pdf

Ochoa de Cornelli, M.J., Ayrault, G., Degano, C. y Lopez Alsogaray, M.S. (1992). *El cultivo de la tuna (Opuntia ficus-indica) en la provincia de Santiago del Estero., Argentina*. pp.97-102, in: Actas del II Congreso Internacional de Tuna y Cochinilla, Universidad de Chile, Santiago.

Paz, R. (1996). *Degradación de recursos en economías rurales empobrecidas en el Noroeste argentino*. Debate agrario. 23:51-67. ISBN 1017-9011.Recuperado el 17 de Abril del 2023.https://catalogosiidca.csuca.org/Record/UNANI.039369/Description

Paz, R. & colaboradores (2002).*Sistemas de producción campesinos caprinos en Santiago del Estero. Proyección y desafíos para el desarrollo del sector.* San Miguel de Tucumán: Ed. Fundapaz. Recuperado el 17 de Abril del 2023.https://www.produccionanimal.com.ar/libros_on_line/32caprinos_campesinos_Santiago/32-caprinos_Santiago.pdf

Paz, R., R. Rodríguez., V. González. (2009). *Desarrollo territorial y eficiencia sistémica. El caso de la cuenca lechera caprina de Santiago del Estero, Argentina.* Rev. Territorios 20/21: 111-134. Recuperado el 17 de Abril del 2023. https://www.researchgate.net/publication/277994213_Desarrollo_territorial_y_eficiencia_sistemica_El_caso_de_la_cuenca_lechera_caprina_de_Santiago_del_Estero_Argentina

Pece, N., F. Frau., G. Font De Valdez. (2017). *Cuenca lechera caprina de Santiago del Estero: Producción primaria e industrial. Desarrollo de nuevos productos lácteos.* In: Aportes de la FAYA (UNSE) para el desarrollo agropecuario y agroindustrial del NOA. Tomo II: Cadena de valor en sistemas pecuarios y otros trabajos. 1 ed. (Ed). Orientación Grafica Editora, Santiago del Estero, Argentina.Recuperado el 17 de Abril del 2023. https://www.researchgate.net/profile/Juan-Silberman/publication/304253225_Rol_de_los_sistemas_silvopastoriles_de_Chaco_en_la_conservacion_de_la_materia_organica_y_la_biodiversidad_del_suelo/links/5981defda6fdcc3abd12371b/Rol-de-los-sistemas-silvopastoriles-de-Chaco-en-la-conservacion-de-la-materia-organica-y-la-biodiversidad-del-suelo.pdf

Salinas, F., Leguizamón Carate, J. N., Roldán, D., Albanesi, A., Frau, F. (2017). *Estudio de la majada en una pequeña explotación lechera caprina.*Revista de las XII Jornadas de Ciencia y Tecnología del NOA (CODINOA).Recuperado el 17 de Abril del 2023. https://drive.google.com/file/d/16izpM65YDZogTf6ybg7ss0bdkgCATY-V/view

Salinas, F., Leguizamón Carate, J. N., Pece, N., Díaz, W., Frau, F. (2019). *Implementación del control de mastitis y sanidad en un tambo caprino de Santiago del Estero. Estudio de caso.* Revista de lasXIV Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA(CODINOA). Recuperado el 17 de Abril del 2023. https://www.facet.unt.edu.ar/wp-content/uploads/2020/11/01-Libro-de-Resumenes-de-las-XIV-Jornadas-V14-1.pdf

Sánchez, C., García de Hernández, M. (2006). *Utilización de tuna de cabra (Opuntia sp.) enriquecida con urea en cabras bajo explotaciones tradicionales de zonas semiáridas*

del estado Lara, Venezuela. Zootecnia Trop., 24(4): 457-466. Recuperado el 17 de Abril del 2023.http://www.bioline.org.br/pdf?zt06035#:~:text=La%20suplementaci%C3%B3n%20con%20tuna%20enriquecida,minerales%2C%20con%20excepci%C3%B3n%20del%20f%C3%B3sforo.

Smeriglio, A. (2014). *Con tuna, los animales consumen hasta un 60% menos de agua.* Revista INTA informa.Recuperado el 17 de Abril del 2023. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/Tuna/16-Con_tuna.pdf

Tinari, M.;; Lynch, G.; Mc Cormick, M.; Simonetti, L. (2014). *Determinación de la edad en el ovino: práctica de boqueo.* Sitio de Producción Animal. Recuperado el 17 de Abril del 2023. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_ovina/produccion_ovina/228-tinari_et_al.pdf

Urritia, M. J., Díaz, G. M., Gámez, V. H., Rivera, L. T., Beltrán, L. S., Luna, V. J. (2007). *Utilización de chamizo (atriplexcanescens) y nopal (opuntia ficus indica) como principales alimentos para producción de leche caprina en la estación de estiaje.*Vº Congreso de Especialistas en Pequeños Rumiantes y Camélidos Sudamericanos, Mendoza, Argentina.Recuperado el 17 de Abril del 2023. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_caprina/leche_caprina/90-urrutias.pdf

Análisis de la Ley Nacional N° 25080 de Inversiones para Bosques Cultivados, en Argentina y en la provincia de Santiago del Estero

Sánchez Ugalde, Rocio[1]; García, Jorge[1];Sarmiento, Miguel[1];Cardona,Gabriela[1]

(1) Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero.
rociosug@unse.edu.ar; *jorgegarcia5439@gmail.com*; *migui@unse.edu.ar*; *cardona@unse.edu.ar*

RESUMEN

El desarrollo de bosques implantados en Argentina fue producto de diversos programas de promoción sostenidos por el Estado que buscaban aliviar la presión sobre los bosques nativos y reducir la dependencia en maderas importadas. A lo largo de los años 90 el sector fue escenario de reformas que buscaban promover la actividad en todo el territorio nacional, mediante subsidios sobre las plantaciones efectivamente logradas de especies de rápido crecimiento. La sanción de la ley 25080 en 1999 buscó consolidar estas reformas, al establecer un régimen de promoción para las inversiones forestales y foresto industriales. En muchas regiones del país, esta política generó respuestas reales y eficaces. Sin embargo, los beneficios fueron desaprovechados en la provincia de Santiago del Estero, a pesar de disponer de amplias superficies con aptitud forestal. En este trabajo se analiza y evalúa los resultados después de más de 20 años; una primera evaluación por parte de los autores, tuvo lugar a 10 años de la implementación de la Ley 25080; observando los mismos vacíos. La política de incentivos a la forestación en la provincia exige un replanteo. Se percibe falta de información, escasez de respuesta de los productores a tales incentivos, y los productores no tienen perfil forestal. Se advierte la necesidad de articular políticas de extensión y difusión y replantear los procedimientos para dinamizar el otorgamiento de los subsidios. (Este estudio se realiza en el marco del Proyecto de Investigación UNSE-FCF Resultados de la implementación de la política forestal en Santiago del Estero y de sus principales instrumentos; iniciado en 2022).

Palabras clave: Política forestal – Subsidios – Incentivos - Desarrollo

ABSTRACT

The development of implanted forests in Argentina was the product of various promotion programs supported by the State that sought to alleviate the pressure on native forests and reduce dependence on imported wood. Throughout the 1990s, the sector was the scene of reforms that sought to promote the activity throughout the national territory, through subsidies on the effectively achieved plantations of fast-growing species. The enactment of Law 25080 in 1999 sought to consolidate these reforms by establishing a promotion regime for forestry and industrial forestry investments. In many regions of the country, this policy generated real and effective responses. However, the benefits were wasted in the province of Santiago del Estero, despite having large areas suitable for forestry. This paper analyzes and evaluates the results after more than 20 years; a first evaluation by the authors took place 10 years after the implementation of Law 25080; Observing the same gaps. The policy of incentives for afforestation in the province requires a reconsideration. There is a perceived lack of information, little response from producers to such incentives, and producers do not have a forestry profile. The need to articulate extension and dissemination policies and to reconsider the procedures to streamline the granting of subsidies is noted. (This study is carried out within the framework of the UNSE-FCF Research Project Results of the implementation of forest policy in Santiago del Estero and its main instruments; started in 2022).

Keywords: Forest Policy - Subsidies - Incentives - Development

1. INTRODUCCIÓN

Las plantaciones forestales son promovidas en el mundo para bajar la presión que tienen los bosques nativos y sus consecuencias ambientales de modo de proveer a través de las diversas cadenas de valor que se desencadenan un consumo que pueda aportar a la reducción de la huella de carbono de la economía.

Es por ello que surge en Argentina la le ley nacional de Inversiones para bosques cultivados N°25080, cuya finalidad es contribuir con los compromisos de Cambio Climático contraídos en el acuerdo de Paris y generar desarrollo sostenible. Para ello se pretende aumentar el stock de 1.3 a 2 millones de hectáreas de bosques cultivados del país.

Argentina es un país con un sector forestal competitivo y con un elevado potencial de desarrollo sostenido, por lo que la ley de inversiones para bosques cultivados aplicada adecuadamente puede actuar como un efecto potenciador del sector foresto industrial en este país.

La Ley 25.080 incluye aspectos fiscales y económicos para promover las plantaciones con beneficios tales como apoyos económicos no reintegrables donde se otorga un monto por hectárea, que varía según la zona geográfica, la especie y la actividad forestal. Otros beneficios de esta ley radican en garantizar la estabilidad fiscal por 30/50 años, desgravaciones fiscales (reintegro de IVA o amortización del impuesto a las ganancias) y exención de todo impuesto patrimonial sobre los activos afectados a los emprendimientos forestales.

Las actividades que se benefician mediante esta ley son las de plantación de bosques, mantenimiento, manejo, riego, protección, cosecha, investigación, desarrollo e industrialización.

Las provincias tienen un papel protagónico en la aplicación de la ley 25.080, ya que prevalece un sistema descentralizado en donde las autoridades provinciales realizan la recepción de la documentación y determinan la viabilidad del proyecto forestal según sus respectivos OTBN, donde se impide la forestación sobre las Categoría I (rojas), y otorgando los posibles beneficios en las Categorías II y III (amarillas y verdes).

1.1 *Antecedentes*

Diversos autores hacen referencia a los atributos de la ley, las partidas presupuestarias y la cantidad de hectáreas afectadas en las provincias desde su aplicación, pero pocos hacen referencia a la efectividad de esta política pública.

Sharry, S. (2013) expresa que Argentina tiene ventajas comparativas en las plantaciones ya que posee altas tasas de crecimiento similares a los principales productores mundiales, además posee un efecto multiplicador en la creación de puestos de trabajo, donde por cada puesto de trabajo que se genera de manera directa, se crean a su vez, 1.4 puestos indirectos. Asimismo, señala que hay disponibilidad de mano de obra, costos competitivos, avances en cuanto a la mejora genética, una amplia supreficie de tierra con aptitudes forestales. Además, considera que, de acuerdo a las legislaciones vigentes, el sector se ha visto beneficiado por la aplicación de la Ley 25080 en lo que a plantaciones forestales se refiere.

García J. & Sarmiento M. (2018), muestran algunos resultados sobre la implementación de la ley 25080 en pequeños productores en Santiago del Estero, y señalan algunos inconvenientes en la aplicación efectiva de la ley en cuestión particularmente vinculadas al cobro del aporte no reintegrable que otorga la ley, ya que sólo el 10% de la población analizada logro hacer efectivo el cobro en su totalidad.

Coronel de Renolfi M. & Cardona G. (2005), hacen un análisis de las respuestas de los productores de la zona de riego de la provincia de Santiago del Estero al régimen de promoción forestal, más específicamente a la ley 25.080. En su artículo las autoras destacan como principales resultados que esta ley generó respuestas eficaces en muchas regiones del país, pero no así en la provincia de Santiago del Estero.

El informe realizado por la Auditoría General de la Nación (AGN, 2017) señala, en base a documentación analizada, algunas deficiencias en la aplicación de la ley y da algunas recomendaciones para que se ejecución sea más eficaz y transparente en el futuro.

1.2 *Costos y apoyos económicos de la ley 25080*

Actualmente, según el Ministerio de Economía, a través de su Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de la nación, mediante resolución

188/2022, se disponen los siguientes montos a pagar que competen a la provincia de Santiago del Estero según las especies a plantar, y las actividades a realizar.
Para plantación los aportes no reintegrables son:

Tabla 1. Costos y apoyo económico en plantaciones en Santiago del Estero según especie y cantidad de hectáreas. Dic. 2022.

Jurisdicción	Especie	Densidad (rango en pl./ha)	Secano				
			Costo ($/ha)	Apoyo económico			
				Hasta 20 ha	Más de 20 y hasta 50 ha	Más de 50 y hasta 150 ha	Más de 150 y hasta 300 ha
Santiago del Estero	*Eucalyptus* spp.	De 600 a 699	155.417	124.334	93.250	77.709	62.167
		De 700 a 949	186.011	148.808	111.606	93.005	74.404
		De 950 a más	231.901	185.520	139.140	115.950	92.760
	Prosopis spp.	De 500 a más	276.978	221.582	166.187	138.489	110.791

Jurisdicción	Especie	Densidad (rango en pl./ha)	Riego				
			Costo ($/ha)	Apoyo económico			
				Hasta 20 ha	Más de 20 y hasta 50 ha	Más de 50 y hasta 150 ha	Más de 150 y hasta 300 ha
Santiago del Estero	*Prosopis* spp.	De 500 a más	293.107	234.485	175.864	146.553	117.243

Fuente: SAGyP res. 88/2022.

La ley además prevé compensaciones monetarias de un 10% adicional por especies de alto valor comercial, por mejoramiento genético y por certificación de gestión forestal sostenible y/o manejo forestal responsable de la unidad de gestión forestal/establecimiento. Asimismo, tiene consideraciones en cuanto a géneros no previstos en la ley, riego, cultivos de cobertura, cortinas y plantación en macizo con densidades inferiores a las mínimas calculadas.
Los costos y apoyo económico de las actividades de poda en la Región Centro, región en la que se incluye la provincia de Santiago del Estero, son los siguientes:

Tabla N° 3. Costos y apoyo económico en tareas silvícolas en la Región Centro. Dic. 2022.

Tareas silvícolas	**Costo ($/ha)**	**70% ($/ha)**
Primera poda	29.813	20.869
Segunda poda	29.899	20.930
Tercera poda	30.882	21.618

Fuente: SAGyP res. 88/2022.

En cuanto al Raleo, para la Región Centro se considera un costo de $20.960 por hectárea, y el apoyo económico correspondiente es del 70% equivalente a $ 14.672 por hectárea (Res. 188/2022).
El manejo de rebrote también es financiado por la Ley 25.080. En ella se establece para la región centro que el costo es de $11.613 por hectárea y el apoyo económico corresponde a $8.129 por hectárea (Res. 188/2022).
Otra actividad que también se incluye es el enriquecimiento de bosque nativo. Esta actividad que para el Parque Chaqueño tiene un costo de 259.377 $/ha, el aporte económico que se otorga hasta 20 hectáreas es del 80% del costo, lo que equivale a 207.501 $/ha, mientras que para el rango de más de 20 y hasta 50 hectáreas, se financia el 60% del costo con un valor de 155.626 $/ha.

2 METODOLOGIA

La presenteinvestigacióntieneunaestructura de tipodescriptivo. Para realizar la búsqueda de la normativa y de las principalespolíticaspúblicasvigentesen la actualidad, nacional y provinciales se realizóunainvestigación de carácterexploratoriocualitativo y documental. Como técnica de análisis se ha utilizadounaactividadinterpretativa para abordarlostextosnormativos y losdocumentospúblicos. Además, se ha realizadounainvestigaciónen sitios web de institucionespúblicas, de organismosforestales y ambientales y se consultaronestudiosacadémicos, informaciónestadística, fuentesjudiciales, asícomomaterialesoficiales y públicos

3 RESULTADOS

3.1 *Texto*

En el año 2022 el presupuesto disponible era de $ 520 millones compuesto por un presupuesto nacional de $ 247 millones más un presupuesto adicional de $ 273 millones. Siendo el presupuesto a ejecutar de $ 529 millones, lo que da un remanente de $9 millones.
En términos nominales el presupuesto asignado para la Ley en cuestión tuvo un incremento nominal del 108,3% entre los años 2020 a 2022.

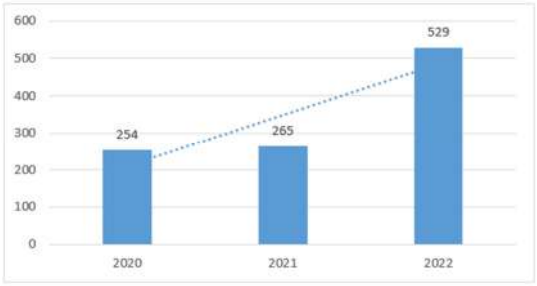


Figura 1: Presupuesto asignado por la ley 25.080 en millones de pesos para los años 2020 a 2022 en Argentina. Fuente: SAGyP, 2022.

El estado de la ejecución del presupuesto se muestra en el siguiente gráfico.

Figura 2: Ejecución del presupuesto según su estado. Nov. 2022. Fuente: SAGyP, 2022.

Las resoluciones firmadas son por un total de $ 347 millones, de los cuales Santiago del Estero recibe solo el 5,45%.
Para el año 2022 se aprobaron 532 planes. La mayoría de ellos corresponden a las provincias de Entre Ríos, Misiones y Corrientes que corresponden al 81% de planes aprobados en el país. Santiago del Estero sólo cuenta con 13 planes aprobados para ese año.

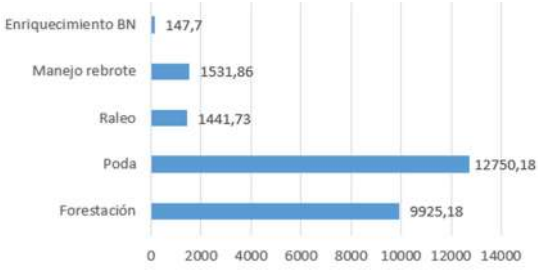


Figura 3: Superficies aprobadas por hectárea en Argentina para el año 2022. Fuente: SAGyP, 2022.

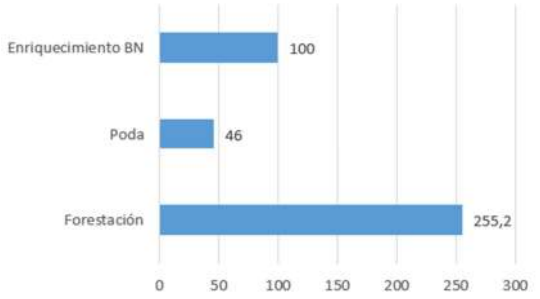


Figura 4: Superficies aprobadas por hectárea en Santiago del Estero para el año 2022. Fuente: SAGyP, 2022.

Santiago del Estero es la provincia con mayor cantidad de hectáreas destinadas a enriquecimiento de bosque nativo, que corresponden al 68% del total del país. No se registran actividades de manejo de rebrote y raleo en esta provincia.

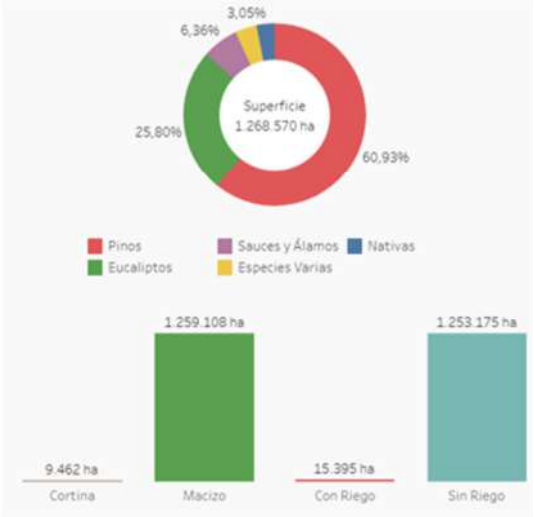


Figura 5: Hectáreas forestadas bajo la ley 25.080 en Argentina. Fuente: SAGyP Inventarios Forestales. 2022.

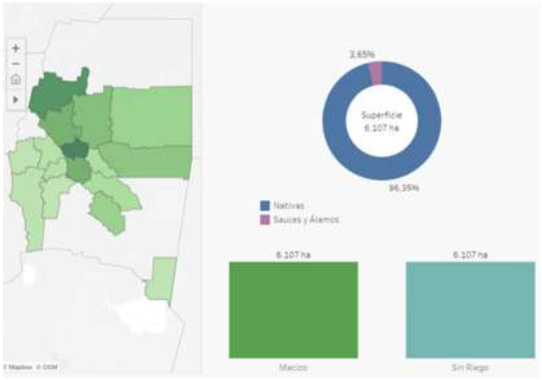


Figura 6: Hectáreas forestadas bajo la ley 25.080 en Santiago del Estero. Fuente: SAGyP Inventarios Forestales. 2022.

Los objetivos que procura le ley de inversiones para bosques cultivados que son los de abastecer a la foresto industria local, según García J. & Sarmiento M. (2018), no coinciden con los objetivos que tienen los productores, ya que los productores en la zona de riego quieren recuperar suelos degradados, mientras que, en la zona de secano, los objetivos de los productores, es la producción de vainas y el fortalecimiento de actos posesorios de la tierra.

La aplicación efectiva de esta promoción forestal, según informe de AGN (2017), depende de la demanda de los actores privados de la economía y esono genera garantías para cumplir con las metas nacionales propuestas de lograr un desarrollo armónico y sustentable.

Otro aspecto a destacar que señalan los autores García J. & Sarmiento M. (2018), es la falta efectiva de los pagos de los aportes no reintegrables de la ley, ya que sólo el 10 % de la población analizada logró cobrar el subsidio por la plantación en su totalidad, siendo el principal inconveniente para el cobro del mismo es que los productos no poseen CUIT y eso imposibilita el pago efectivo del mismo.

Por otra parte, Coronel de Renolfy M. & Cardona G. (2005), señalan que hay falta de información en los productores, y por lo tanto, se observa una baja respuesta de los productores a los incentivos promocionados, señalando además, que los productores de Santiago del Estero no tienen un perfil forestal.

El informe presentado por la Auditoría General de la Nación (2017), señala que no hay una planificación basada en el potencial forestal ni en criterios de elegibilidad eco regionales con metas de forestación, sino que la asignación de los beneficios está basada en la demanda de fondos que realizan las personas físicas o jurídicas de acuerdo al orden de llegada al organismo pertinente.

El sistema de gestión de expedientes inicialmente no contaba con un sistema digital pero en la actualidad se puede hacer un seguimiento en la plataforma de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca https://inforestal.magyp.gob.ar/. Sin embargó, según lo manifiesta el informe realizado por la Auditoría General de la Nación, la gestión de expedientes llega un complejo proceso completo, donde puede tardar meses en su culminación desde que se genera el expediente hasta el pago, llegando incluso a demorar hasta 4 años y 7 meses, observándose el menor tiempo de gestión en 18 meses (AGN, 2017).

Alineado a la Ley 25.080, en Santiago del Estero surgió el Programa Forestal Santiagueño, promovido por la MEFISE (Mesa Foresto Industrial de Santiago del Estero), cuyo objetivo era *"la forestación, reforestación y enriquecimiento de 900 has de áreas degradadas, ubicadas estratégicamente en zonas con experiencia previa y con el potencial de generar polos locales de producción competitivas en el periodo 2017 – 2021"*. Este programa, dirigido a pequeños y medianos productores individuales de la zona de riego, con una disponibilidad de 9 a 15 hectáreas para forestar, permitió financiar con fondos del Programa un tercio de las hectáreas a forestar con acompañamiento técnico y administrativo, que luego el productor tenía que devolver al programa con forestación y no con dinero una vez que la ley 25.080 hubiese hecho efectivo el pago correspondiente.

Durante el año 2023 se ejecutó la segunda etapa del PFS, el cual destinó forestar 30 ha con la especie algarrobo blanco (*Prosopis alba*) en modalidad de enriquecimiento de bosque nativo, siguiendo un marco de plantación de 7m x7 m con una densidad de 200 pl/ha, reuniendo un total de 6000 plantas. En esta oportunidad se plantaron dos lotes ubicados en el Dpto. Belgrano, uno correspondiente a 5 ha y el otro de una superficie de 25 ha. Las plantas empleadas provienen de material de fuente seleccionada, contenidas en bandejas con tubetes, proveniente del Vivero Municipal de Termas de Rio Hondo.

4 CONSIDERACIONES FINALES

Para una correcta aplicación de la ley 25.080, es necesario revisar algunas cuestiones como:

- La ausencia de mecanismos y herramientas necesarias para desarrollar todos los objetivos; que en la práctica, podría compensarse con la aplicación de la Ley N°25.675 (Ley General del Ambiente) que ofrece instrumentos de política y de gestión ambiental, tales como: ordenamiento ambiental del territorio, evaluación de impacto ambiental, sistema de control sobre el desarrollo de las actividades antrópicas, educación ambiental, sistema de diagnóstico e información ambiental y el régimen económico de promoción del desarrollo sustentable.
- Las autoridades de aplicación nacional y provinciales deberán controlar y revisar los criterios utilizados en la zonificación de cuencas forestales periódicamente, con el objetivo de mantener la masa boscosa y los estándares ambientales marcados.
- Garantizar el financiamiento del régimen de promoción, si es necesario con fondos extrapresupuestarios, y continuar las gestiones con las compañías aseguradoras y recuperar este aporte para el Fondos de Seguro Verde.
- Puntualmente en Santiago del Estero, es necesario revisar algunas cuestiones importantes para una correcta aplicación de la ley 25.080. Temas como la mejora de los mecanismos para hacer efectivos los pagos del aporte no reintegrable, teniendo en cuentas las incompatibilidades con quienes cobran planes sociales, y la falta de dinamismo en el otorgamiento en los procedimientos administrativos, son necesarios.
- Realizar una articulación de políticas de extensión y difusión para promover la ley.
- Falta información sobre el seguimiento a plantaciones logradas, en cuanto a si las mismas han prosperado o en caso de no haberlo hecho, conocer los inconvenientes para ser tenidos en cuenta en futuras plantaciones.

5 REFERENCIAS

Auditoría General de la Nación (AGN). *Informe de auditoría*. (2017).

Coronel de Renolfi, M. & Cardona, G. (2005). *Respuesta de los productores de la zona de riego de Santiago del Estero al régimen de promoción forestal*. Revista Quebracho N° 12, pp. 54-65. Santiago del Estero, Argentina.

Ministerio de Economía, Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. (2022). *Presentación de Comisión Asesora. Ley 25.080 de inversiones para bosques cultivados, Argentina.*

García, J. & Sarmiento M. (2018). *Resultados de la implementación de la ley nacional N° 25.080 en pequeños productores de Santiago del Estero*. XIII Jornadas de Ciencia y Tecnología del NOA, Santiago del Estero, Argentina.

Ministerio de Economía, Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. (2022). *Resolución 188/2022*. Disponible en https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/277904/20221216

Ministerio de Economía, Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. (2022). *Inventarios Forestales*. Disponible en https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/desarrollo-foresto-industrial/inventarios/

Sharry, S. (2013). *Producción y Procesamiento de Recursos Forestales*. Documento de referencia. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación. Disponible en https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/recursos-forestales-doc.pdf

Evaluación de extractos del bagazo cervecero en células oviductales cultivadas *in vitro*

Savino, Narella[1]; Vilalba, Ivanna L.[1]; Vella, Milda A.[2]; Roldan-Olarte, Mariela[2]; Nazareno, Mónica A.[1];García, Daniela C.[1]

(1) Instituto de Ciencias Químicas-Facultad de Agronomía y Agroindustrias-Universidad de Santiago del Estero-CONICET. Ruta 9 Km. 1125 (4206). Villa El Zanjón, Santiago del Estero.
savinonarella@gmail.com

(2) INSIBIO-CONICET-UNT. Chacabuco 461 (4000). S.M. de Tucumán, Tucumán.
mvella22.mv@gmail.com

RESUMEN

El bagazo cervecero (BSG) es el principal subproducto de la industria cervecera. Es rico en fibras, proteínas y compuestos fenólicos (CF), siendo el ácido ferúlico (AF)uno de los de mayor importanciapor sus funciones bioactivas, entre ellas, su poder antioxidante.Se ha observado en estudios previos que el AF tiene importantes funciones en reproducción animal y que ciertos CF son permeables al oviducto. Teniendo en cuenta esto, se realizaron extractos hidroalcohólicos de polvo de BSG, y se determinaron los contenidos totales de compuestos fenólicos, actividad antioxidante y deterioro oxidativo. Con la finalidad de evaluar el efecto de extractos de BSG en células *in vitro*, se propuso estudiar la migración y la actividad de enzimas antioxidantes de cultivos primarios de epitelioovidutal bovino. Los resultados obtenidos indican que tanto los extractos de BSG como el AF puro, tienen efecto inductor en la migración celular y actividad de las enzimas catalasa y superóxido dismutasa.

ABSTRACT

Brewer's Spent Grain (BSG) is the main byproduct of the brewing industry. It is rich in fibers, proteins, and phenolic compounds (PC), with ferulic acid (FA) being one of the most important due to its bioactive functions, including its antioxidant power. Previous studies have shown that FA plays important roles in animal reproduction and that certain PC are permeable to the oviduct. Taking this into account, hydroalcoholic extracts were obtained from BSG powder, and the total contents of phenolic compounds, antioxidant activity, and oxidative deterioration were determined. In order to evaluate the effect of BSG extracts on in vitro cells, the migration and antioxidant enzyme activity of primary cultures of bovine oviductal epithelium were studied. The results obtained indicate that both BSG extracts and pure FA have an inducing effect on cell migration and the activity of the enzymes catalase and superoxide dismutase.

Palabras claves: subproductos agroindustriales, compuestos fenólicos, nutrición animal, reproducción animal

Keywords: agro-industrial by-products, phenolic compounds, animal nutrition, animal reproduction

1. INTRODUCCIÓN

La cerveza es una de las bebidas alcohólicas más populares y consumidas del mundo. La producción a gran escala da lugar a la generación de grandes cantidades de residuos orgánicos. El primer y más abundante subproducto cervecero se forma tras el proceso de maceración, conocido localmente como bagazo cervecero e internacionalmente como “Brewer’sSpentGrain” (BSG) (Ikram et al., 2017), y representa el 85% del total de los residuos (Nigam, 2017).Por ello, se requiere una disposición final en un vertedero o en un relleno sanitario generando así un fuerte impacto sobre el ambiente, liberando grandes cantidades de gas metano (Thomas y Rahman,

2006). En general, está constituido por alrededor de 70 % de fibra, 20 % de proteína bruta y 8,5 % de extracto etéreo correspondiente a la fracción lipídica (Mc Carthy et al., 2013), siendo una excelente composición para la alimentación de rumiantes (Huige, 2006). Además, es rico en compuestos fenólicos, entre ellos el ácido ferúlico (AF), reconocido por su poder antioxidante,que tiene importantes funciones como la participación en la producción de proteína animal, en el desarrollo del aparato reproductor, en el crecimiento folicular y ovulación, mejorando la actividad reproductiva (Valadez-García et al., 2021).

Estudios llevados a cabo en animales de experimentación han demostrado que determinados compuestos provenientes de la dieta pueden ser absorbidos en el tracto digestivo (Manach et al., 1997) y así, llegar por el torrente sanguíneo a diferentes órganos (Tero-Vescan et al., 2014), siendo permeables al oviducto (Simintiras et al., 2012), el cual representa la parte del aparato reproductor que provee un microambiente óptimo para la unión de los gametos y desarrollo embrionario temprano.

En ovinos a los que se han administrado AF libre, se ha observado que fue absorbido y quedó rápidamente biodisponible (Valadez-García et al., 2021). Hasta el momento, no se han reportado antecedentes de la acciónde AF en cultivos celulares de oviducto bovino, aunque previamente se realizaron ensayos con genisteína, compuesto fenólico de tipo isoflavona con propiedades antioxidantes en este modelo *in vitro* (García et al., 2017).

El objetivo de este trabajo fue caracterizar extractos de bagazo secado a diferentes temperaturas, determinando los contenidos totales de CF, actividad antioxidante y deterioro oxidativo y evaluar su efecto en cultivos de células de oviducto bovino.

Los resultados de este trabajo podrían contribuir al aprovechamiento de subproductos agroindustriales en línea con los objetivos de desarrollo sostenible y con modelos de economía circular. A su vez favorecenla toma de futuras decisiones en nutrición, sanidad y manejo animal.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Recolección del material

Se empleó BSG de cerveza roja, que se obtuvo de la cervecería artesanal “Del Barco”, de Santiago del Estero, inmediatamente luego de la filtración durante la producción de cerveza. El material fue trasladado en envases plásticos hasta el lugar de secado.

2.2 Secado y molienda

Se probaron diferentes temperaturas para el secado del BSG: 45, 60 y 100°C en estufa y, a temperatura ambiente, mediante aireación natural. Se controló la pérdida de humedad hasta peso constante. A partir del bagazo seco se realizó la molienda utilizando un molinillo eléctrico.

2.3 Evaluación del deterioro oxidativo

Para determinar el estado oxidativo del polvo de bagazo cervecero secado a diferentes temperaturas, se evaluaron los niveles de malondialdehído (MDA) como reconocido marcador de oxidación lipídica avanzada, utilizando la metodología espectrofotométrica que determina las sustancias reactivas al ácido 2-tiobarbitúrico (TBARS), expresado como MDA. En primer lugar, se homogeneizóel polvo de bagazo con una solución de tricloroacético (TCA) al 0,1%. Se centrifugóy se sometió a calentamiento de 95°C durante 1 h el sobrenadante obtenido con una solución de ácido tiobarbitúrico (TBA) en TCA. Posteriormente se enfrió y midió la absorbancia a 532 nm (Sinnhuber et al., 1958). Se realizó la curva de calibración utilizando 1,1,3,3-tetraetoxipropano (TEP) como estándar precursor de MDA y los resultados se expresaron como mg MDA/g MS (Yonny et al., 2016).

2.4 Obtención de extractos

Se pesó 1 g de la muestra y se llevó a 25mLcon etanol al 60 %sometiendo el extracto a ultrasonido por 10 minutos a 60°C y posteriormente una centrifugacióna 10.000 rpm por 10 min.

2.5 Determinación del contenido total de compuestos fenólicos

Se determinó el contenido total de compuestos fenólicos en todos los extractos, a partir del método de Folin-Ciocalteu(Singleton et al., 1999). El método se basa en la capacidad de los fenoles para reaccionar con agentes oxidantes. El reactivo de Folin-Ciocalteu contiene molibdato y

fosfomolíbdico-fosfotúngstico. La transferencia de electrones a pH básico reduce los complejos fosfomolíbdico-fosfotúngstico en óxidos, cromógenos de color azul intenso, de tungsteno (W_8O_{23}) y molibdeno (Mo_8O_{23}), siendo proporcional este color al número de grupos hidroxilo de la molécula.Para la reacción, se mezclaron alícuotas del extracto hidroalcohólico con el reactivo de Folin-Ciocalteu, carbonato de sodio (Na_2CO_3) y agua destilada. La solución fue calentada a 50 °C durante 10 min, y la reacción fue detenida empleando un baño de hielo. Posteriormente se midió la absorbancia a 765 nmpor espectrofotometría. Para la curva de calibración se emplearon soluciones patrones de ácido ferúlico en diferentes concentraciones.

2.6 Determinación de la actividad antioxidante

Para determinar la actividad antirradicalaria de los extractos obtenidos, se utilizó la técnica de decoloración del radical libre 2,2-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) (ABTS·+) según lo descrito por Kuskoski et al., (2005). El radical ABTS·+ se obtiene por oxidación de ABTS con el persulfato de potasio, evidenciándose por la coloración verdosa, la cual va disminuyendo a medida que dicho radical se reduce por acción de las sustancias antioxidantes presentes en la muestra.

Se monitoreó la disminución de la absorbancia de una solución de ABTS·+ por espectrofotometríaa 734 nmdurante 10 minen20 ciclos de 30 s. Los ensayos se realizaron por duplicado, empleando ácido ferúlico para la curva de calibración.

2.7 Obtención de cultivos celulares

Se recolectaron aparatos reproductores de hembras bovinas recién faenadas en un frigorífico de San Miguel de Tucumán y se seleccionaron, identificando por observación de ovarios, los oviductos en etapa proestro, debido a que es un periodo de crecimiento folicular y se ha determinado una regulación positiva en genes involucrados en secreción y modificación de proteínas, lo que resulta interesante enfocarse en esta fase (Rottmayer et al., 2016).Para este ensayo se necesitó extraer las células epiteliales de 3 oviductos. Se realizaron lavados en buffer fosfato salino (PBS) y antibióticos (penicillina, estreptomicina y fungizona)y las células se obtuvieron por raspado mecánico. El contenido oviductal fue recogido en un tubo para realizar lavados.

Se colocó la suspensión celular en una placa de Petri, y se disgregó en el medio de cultivo DMEM, mediante pasajes con jeringa y aguja. Se incubó en estufa gaseada a 38,5 °C, 5 % de CO_2 y 100 % de humedad durante 30 min. Se recuperó el material en suspensión y se colocó en un tubo estéril. Luego se dejó sedimentar, se eliminó el sobrenadante y se resuspendió el material sedimentado nuevamente en el medio de cultivo. Se homogeneizó y se llevó 500 µLdel contenido celular ($3x10^4$células) a cada pocillo de una placa para cultivo de 24 pocillos. La placa para la medición de actividad enzimática y deterioro oxidativo, se incubó por 48 h hasta la obtención de vesículas esferoidales. El cultivo para la evaluación del ensayo de cierre de herida se incubó por 7 días hasta la obtención de monocapas (Garcíaet al, 2017).

2.8 Ensayo de cierre de herida

Se realizaron heridas con un tip sobre la monocapa de células. Se observaron bajo el microscopio invertido y se tomaron fotografías de diferentes lugares sobre las heridas. Posteriormente se adicionaron los extractos de bagazo de cerveza roja secado a 100° y 60°C en concentraciones de 0,5 y 1 mg/mL y AF puro en concentraciones de 1,30 y 0,65 µg/mL (Bonifácio-Lópes et al., 2020, Hwang et al., 2022). También se realizó un control con adición del solvente etanol al 60 %. Los cultivos fueron estimulados por 24 h.

Posteriormente, se realizó la tinción de las células con cristal violeta al 1%. La solución se extrajo con una micropipeta y se agregó PBS en cada pocillo para realizar lavados sucesivos. Finalmente se quitó la solución de lavado y se llevó la placa al microscopio invertido.

El análisis de las heridas se realizó tomando fotografías en los distintos campos definidos del cultivo para evaluar el progreso de las células en el área designada de la herida. El procesamiento de las imágenes se realizó con el programa ImageJ, midiendo el área total de la imagen y el

área de la herida, en cada caso (García et al., 2017).

2.9 Medida de la actividad de catalasa (CAT) y superóxido dismutasa (SOD)

$$2H_2O_2 \xrightarrow{CAT} 2H_2O + O_2 \quad (1)$$

La actividad de catalasa (CAT) fue valorada utilizando el método de Aebi (1974) basado en la descomposición delperóxido de hidrógeno(H_2O_2) (1) y medidas espectrofotométricas a 240 nm. Para ello, se preparó una solución 30 mMde peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y se dispuso el blanco en la celda de medición únicamente con PBS, para las muestras se adicionóel mismo buffer y 50 µL de muestra y posteriormente se agregaron 500 µL de la solución de H_2O_2 preparada previamente y se midió la caída de la absorbancia. Se realizó la curva standard y la pendiente fue utilizada en la fórmula propuesta por el método para obtener la actividad expresada en pmol CAT/mg de células.

$$\text{Adrenalina} \xrightarrow[\text{SOD}]{O_2^-} \text{Adrenocromo (rosa)} \quad (2)$$

La actividad de superóxido dismutasa (SOD) fue medida a 480 nm utilizando el método de Misra y Fridovich (1972), basado en la auto-oxidación de la adrenalina a pH 10,2 (2). La medición de la actividad de SOD se basa en la inhibición de la reacción del radical superóxido con adrenalina. Una unidad de SOD se define como la cantidad de enzima que inhibe en un 50% la velocidad de formación de adrenocromo a 30°C.Se realizóuna curva standard con la caída de la absorbancia medida en la oxidación de la adrenalina y fue utilizada como referencia. Se realizaron las mismas medidas, pero con 3 alícuotas de diferentes volúmenes de cada muestra de células tratadas y se obtuvieron rectas con la aplicación del logaritmo neperiano.

2.10 Medición de MDA por TBARS

Para determinar el avance de la oxidación lipídica de las muestras celulares, se analizó como biomarcador de estrés oxidativo al MDA de acuerdo a la metodología desarrollada en el laboratorio (Yonny et al., 2016).

Para ello, se añadió una alícuota de TCA al 20 % (p/v) a 0,50 mL de la suspensión de células de oviducto bovino obtenidas anteriormente y siguiendo el mismo procedimiento descripto en la determinación de enzimas. La fracción de MDA libre se determinó por reacción de condensación con solución de TBA al 0,5 % (p/v) en TCA. Posteriormente, se calentó durante 15 min en un baño de agua en ebullición. Después de enfriar en un baño de hielo, la mezcla se centrifugó a 10.000 rpm.

2.11 Análisis estadístico

Se utilizó el procedimiento de análisis de la varianza (ANOVA) mediante el programa estadístico InfoStat(InfoStat 2015, http://www.infostat.com.ar). Todas las mediciones se realizaron por duplicado y los resultados obtenidos se expresaron como media ± error estándar. Las diferencias significativas fueron evaluadas mediante el test LSD Fisher ($p<0,05$).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se logró obtener extractos ricos en compuestos fenólicos y con actividad antioxidante a partir de polvo de bagazo con etanol al 60%. Según bibliografía, este solvente favorece la extracción de compuestos bioactivos, además de ser ecólogico o solvente verde, ya que es respetuoso con el medio ambiente (Bonifacio-Lópes et al. 2020).

Se comparó el contenido total de CF, la actividad antioxidante y el deterioro oxidativo del polvo de bagazo secado a diferentes temperaturas. Como puede observarse en la Tabla 1, los valoresfueron significativamente mayores en el bagazo secado a 100°C.

Tabla 1. Contenido total de compuestos fenólicos, actividad antioxidante y estado oxidativo del bagazo secado mediante diferentes metodologías. a, b, c y d indican diferencia significativa, TA: temperatura ambiente.

Mediciones	Compuestos fenólicos (mg AF/g MS)	Actividad antioxidante (Eq mg AF/g MS)	Estado oxidativo (mg MDA/ g MS)
T de secado del BSG			
TA	3,55 ±	$8,6x10^{-4}$	$1,9x10^{-4}$

	0,45 a	± 1,5x10^{-4} a	± 3x10^{-5} a
45°C	3,71 ± 0,45 ab	9,7x10^{-4} ± 1,5x10^{-4} ab	2,3x10^{-4} ± 3x10^{-5} ab
60°C	4,96 ± 0,45 c	9,8x10^{-4} ± 1,5x10^{-4} ab	3,2x10^{-4} ± 3x10^{-5} c
100°C	8,45 ± 0,45 d	2,1x10^{-3} ± 1,5x10^{-4} c	4,3x10^{-4} ± 3x10^{-5} d

Los resultados obtenidos del contenido total de CF en bagazo cervecero son similares a los estudios abordados por McCarthy et al. (2013) y Mussatto et al. (2007). Por otro lado, Salcedo y Nazareno (2015) evaluaron los niveles de oxidación en nueces y almendras molidas después de tratamientos térmicos y encontraron que, al aplicar mayores temperaturas, se obtuvieron también mayores niveles de estado oxidativo.

Para el ensayo en cultivos celulares, se seleccionaron los extractos de bagazo secado a 60 y 100°C ya que como indica los resultados, se determinó mayor actividad antioxidante (Fig. 1).

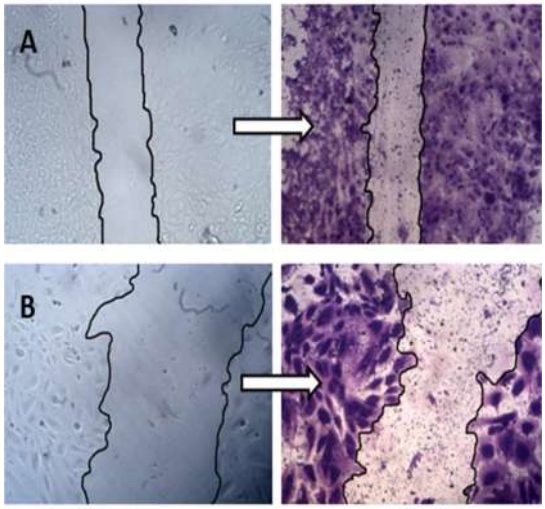


Figura 1. ensayo de cierre de herida. A: Control con etanol 60 % a las 0 y 24 h. B: Tratamiento con extracto de BSG secado a 60°C en 1 mg/mL a las 0 y 24 h.

Las concentraciones aplicadas de los extractos como de los tratamientos con AF comercial se seleccionaron por ser las aplicadas para extractos de bagazo en otro tipo celular, según se indica en el trabajo de Bonifacio-Lópes et al. (2020).

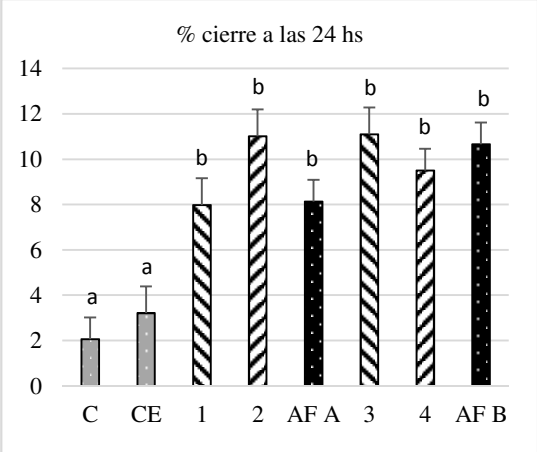


Figura 2. Cierre de herida luego de las 24 h con los tratamientos C (control), CE (control con etanol60 %), 1 y 2 (extracto de BSG secado a 100 y 60°C respectivamente en 1 mg/mL), AF A y B (ácido ferúlico puro en 1,30 y 0,65 µg/mL) y 3 y 4 extracto de BSG secado a 100 y 60 °C en 0,5 mg/mL). a y b indican diferencia significativa.

Los resultados, como se muestra en la figura2, indicaron que existe una diferencia significativa entre los tratamientos con extractos de BSG y el AF puro de distintas concentraciones con respecto a los controles empleados. No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos con BSG y AF entre sí, pero se mostró un mayor cierre de herida en las monocapas al comparar dichas inducciones con los controles. Si bien no hubo diferencias significativas, hubouna tendencia en los valoresobtenidos,pero no se observa una dependencia directa con la concentración.

Truzzi et al. (2020) comprobaron en su estudio que el AF tiene un efecto significativo en migración celular al probarlo en ensayos de cierre de herida en cultivos celulares de fibroblastos. Hasta inducciones con 20 mg/L de AF se obtuvo una mayor migración celular con respecto al control, mientras que a una concentración de 40 mg/L la migración se inhibía.

Hwang et al., (2022) evaluaron el efecto de AF en cultivos de epitelio intestinal humano, determinando un efecto antioxidante, con respuesta anti-inflamatoria y mostrando viabilidad *in vitro* en un rango de concentraciones empleado en estos ensayos de biología celular.

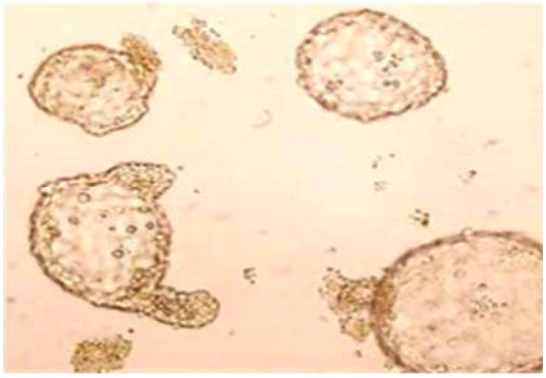


Figura 3. Vesículas esferoidales.

Con respecto a los ensayos realizados a partir de vesículas esferoidales (Fig. 3), se decidió realizarlos con extractos de bagazo secado a 100°C ya que, en el ensayo de cierre de herida, no hubo diferencia significativa con respecto al tratamiento donde se aplicó extracto de bagazo secado a 60°C.

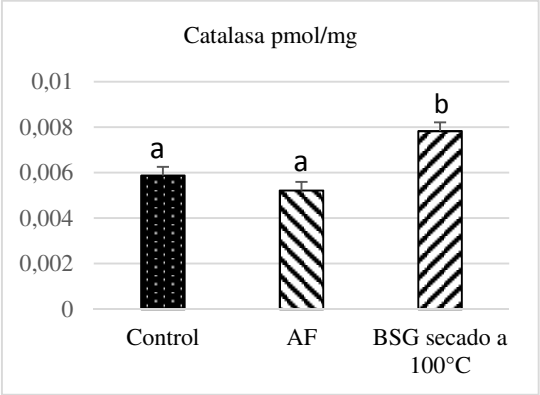


Figura 4. Actividad de la enzima catalasa (CAT) expresada en pmol/mg, medida en vesículas esferoidales y tratadas con etanol 60 % (control), solución de ácido ferúlico puro 1,30 µg/mL (AF) y extracto de BSG secado a 100°C 1 mg/mL. a y b indican diferencia significativa.

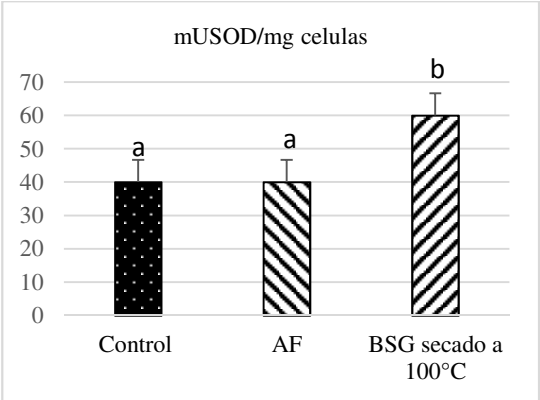


Figura5.Actividad de la enzima superóxido dismutasa (SOD) expresada en mU SOD/mg células, medida en vesículas esferoidales y tratadas con etanol 60 % (control), solución de ácido ferúlico puro 1,30 µg/mL (AF) y extracto de BSG secado a 100°C 1 mg/mL. a y b indican diferencia significativa.

Es importante destacar que hubo una diferencia significativa en la determinaciónde las enzimas SOD y CAT en las células tratadas con extractos de BSG, comparados con el control y con el agregado de AF (Fig. 4 y 5). Estos resultados demostraron un efecto de los extractos de BSG en la actividad antioxidante de células cultivadas del oviducto bovino que podría deberse a su rica composición de bioactivos, particularmente de compuestos fenólicos, que pueden favorecer la acción enzimática de CAT y SOD, como se destacó en otros trabajos científicos de cultivos celulares (McCarthy et. al., 2014).

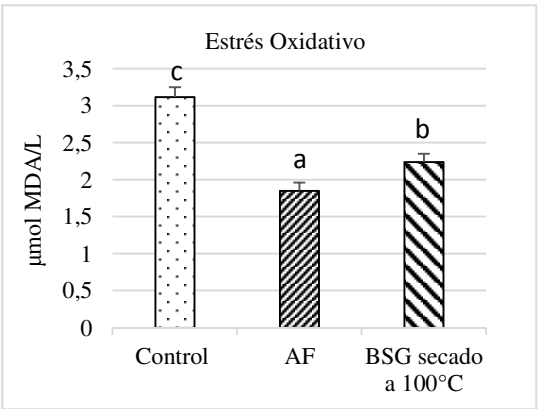


Figura 6. Estrés oxidativo medido en vesículas esferoidales tratadas con etanol 60 % (control), solución de ácido ferúlico puro 1,30 µg/mL (AF) y extracto de BSG secado a 100°C 1 mg/mL. a, b y c indican diferencia significativa.

Con respecto a los resultados obtenidos del estrés oxidativo (Fig. 6), se obtuvo una marcada diferencia entre el control representado por el solvente usado con respecto al AF puro y el extracto de BSG. Se encontró mayor deterioro oxidativo en las muestras con el etanol 60 % (control), y a pesar de que el AF y el BSG se hayan disuelto en este mismo solvente, las moléculas presentes en el BSG y el AF contrarrestan dicho efecto.

4. CONCLUSIONES

Mediante los ensayos realizados se logró obtener extractos ricos en compuestos fenólicos, presentando valores superiores en los de BSG secado a mayores temperaturas. El mismo efecto se observó en actividad antioxidante y deterioro oxidativo. Por otro lado, el bagazo cervecero secado a temperatura ambiente proporciona una alternativa para la obtención de un alimento nutritivo con ahorro energético al evitar el uso de estufas. Es la primera vez que extractos de BSG se ensayaron en cultivos de células epiteliales de oviducto bovino para evidenciar el efecto de este posible alimento para ganado. De acuerdo con los resultados obtenidos en los ensayos de cierre de herida y de enzimas antioxidantes, se observó un efecto inductor en migración celular y en actividad enzimática, por lo que su empleo podría favorecer el mantenimiento de la fisiología celular en etapas reproductivas. Además, estos resultados promueven el aprovechamiento y conservación de subproductos agroindustriales, contribuyendo al cuidado del medio ambiente y favoreciendo la economía circular.

5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la cervecería “Del Barco” por proveer el bagazo cervecero para realizar nuestros ensayos. Narella Savino agradece por sus becas al Consejo Interuniversitario Nacional (CIN) y al Consejo Nacional de InvestigacionesCientíficas y Técnicas(CONICET).

6. REFERENCIAS

Aebi H. (1974). Catalase Methods of Enzymatic Analysis II. *Academic Press, New York*. NY 673-683.https://doi.org/10.1016/B978-0-12-091302-2.50032-3.

Bonifácio-Lopes, T., Vilas-Boas, A., Coscueta, E. R., Costa, E. M., Silva, S., Campos, D., Teixeira, J.A. *y* Pintado, M. (2020). Bioactive extracts from Brewer’s Spent Grain. Food & Function.,11,8963-897. https://doi.org/10.1039/D0FO01426E

García, D.C. (2014). Acción del activador de plasminógeno tipo uroquinasa en el oviducto bovino.Tesis doctoral. Universidad Nacional de Tucumán, Argentina,98.

García, D.C.; Valdecantos, P.A.; Miceli, D.C. y Roldan Olarte, E.M. (2017). Genistein affects proliferation and migration of bovine oviductal epithelial cells. *Res. Vet. Sci.* 114, 59-63. https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2017.02.027

Huige, N. J. (2006). Brewery by-products and effluents. *In Handbook of brewing* (pp. 670-729). CRC Press.

Hwang, H. J., Lee, S. R., Yoon, J. G., Moon, H. R., Zhang, J., Park, E., Yoon, S. y Cho, J. A. (2022). Ferulic Acid as a Protective Antioxidant of Human Intestinal Epithelial Cells. *Antioxidants*, 11(8), 1448.https://doi.org/10.3390/antiox11081448

Ikram S.; Huang L.; Zhang H.; Wang J. y Yin M. (2017). Composition and nutrient value proposition of brewers spent grain. *Journal of Food Science,* 82(10) 2232-2242. https://doi.org/10.1111/1750-3841.13794

Kuskoski M.E.; Asuero A.G.; Troncoso A.M.; Mancini- Filho J.y Fett R. (2005). Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Revista Brasileña Ciencia y Tecnología Alimentaria*, Volume 25 726-732.https://doi.org/10.1590/S0101-20612005000400016

Manach, C.; Morand, C.; Demigne, C.; Texier, O.; Regerat, F. y Remesy, C. (1997). Bioavailability of rutin and quercetin in rats. *FEBS Letters*, 409, 12-16. https://doi.org/10.1016/S0014-5793(97)00467-5

McCarthy, A. L., O’Callaghan, Y. C., Neugart, S., Piggott, C. O., Connolly, A., Jansen, M. A. K., Krumbein, A., Schreiner, M., Fitzgerald, R. y O’Brien, N. M. (2013). The hydroxycinnamic acid content of barley and brewers’ spent grain (BSG) and the potential to incorporate phenolic

extracts of BSG as antioxidants into fruit beverages. *Food Chemistry*, 141(3), 2567–2574.https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.048

McCarthy, A. L.; O'Callaghan, Y. C.; Connolly, A.; Piggott, C. O.; FitzGerald, R. J. y O'Brien, N. M. (2014). Phenolică enriched fractions from brewers' spent grain possess cellular antioxidant and immunomodulatory effects in cell culture model systems. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *94*(7), 1373-1379. https://doi.org/10.1002/jsfa.6421

Misra, H. P., y Fridovich, I. (1972). The Role of Superoxide Anion in the Autoxidation of Epinephrine and a Simple Assay for Superoxide Dismutase. *Journal of Biological Chemistry*, 247(10), 3170–3175. https://doi.org/10.1016/s0021-9258(19)45228-9

Mussatto, S. I., Dragone, G., y Roberto, I. C. (2006). Brewers' spent grain: generation, characteristics and potential applications. *Journal of Cereal Science,* 43, 1–14.https://doi.org/10.1016/j.jcs.2005.06.001

Nigam, Poonam Singh. (2017). An overview: Recycling of solid barley waste generated as a by-product in distillery and brewery. Faculty of Life and Health Sciences, Ulster University, Coleraine, Northern Ireland. *Waste Management*, 62, 255–261.https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.02.018

Rottmayer, R.; Ulbrich, S. E.; Kolle, S.; Prelle, K.; Neumueller, C.; Sinowatz, F., Meyer, H.H.D., Wolf, E. y Hiendleder, S. (2006). A bovine oviductepithelialcellsuspension culture systemsuitableforstudyingembryo–maternal interactions: morphological and functionalcharacterization. Reproduction, 132(4), 637-648.https://doi.org/10.1530/rep.1.01136

Salcedo, C. L., y Nazareno, M. A. (2015). Effect of phenolic compounds on the oxidative stability of ground walnuts and almonds. *RSC Advances*, *5*(57), 45878-45887.https://doi.org/10.1039/C5RA00245A

Simintiras C.A.; Courts F.L. y Sturmey, R.G. (2012). Genistein transport across the bovine oviduct epithelium. *Reproduction, Fertility and Development* 25 208–209.https://doi.org/10.1071/RDv25n1Ab123

Singleton, V.L.; Orthofer, R. y Lamuela-Raventos, R.M. (1999). Analysis of Total Phenols and Other Oxidation Substrates and Antioxidants by Means of Folin-Ciocalteu Reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152-178.https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1

Sinnhuber, R.O. y Yu, T.C. (1958). 2-Thiobarbituric acid method for the measurement of rancidity in fishery products. II. The quantitative determination of malonaldehyde. *Food Technol*. 12:9.

Tero-Vescan, A.; Vari, C.; Muntean, D.L.; Dogaru, M.T.; Filip, C. y Imre, S. (2014). Determination of genistein in rat liver and kidney by a HPLC/UV method. Possible extrapolation from animals to humans. *Revista Romana de Medicina de Laborator*, 22, 1, 119-127. https://doi.org/10.2478/rrlm-2014-0006

Thomas K. R.; Rahman P. (2006). Brewery wastes. Strategies for sustainability. A review. Aspects of Applied Biology, Volume 80.

Truzzi F.; Valerii M.C.; Tibaldi C.; Zhang Y.; Abduazizova V.; Spisni E. y Dinelli G. (2020). Are Supplements Safe? Effects of Gallic and Ferulic Acids on In Vitro Cell Models. *Nutrients.* 12, 1591. https://doi.org/10.3390/nu12061591

Valadez-García K.M.; Avendaño-Reyes L.; Díaz-Molina R.; Mellado M.; Meza-Herrera C.A.; Correa Calderón A. y Macías-Cruz U. (2021). Free ferulic acid supplementation of heat-stressed hair ewe lambs: Oxidative status, feedlot performance, carcass traits and meat quality. *MeatScience* 173, 108395. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108395

Yonny M. E.; García E. M.; Lopez A.; Arroquy J. I. y Nazareno M. A. (2016). Measurement of malondialdehyde as oxidative stress biomarker in goat plasma by HPLC-DAD. *Microchemical Journal,* 129, 281-285.https://doi.org/10.1016/j.microc.2016.07.010

Perfil de acidificación de fermentos lácticos comerciales para la elaboración de quesos untables de cabra con fermentación ácida

Sayes, Romina[1];Llebeili, Yamila[2];Luque, Melchor[1], Leguizamón Carate, Jorge Nelson[3] y Florencia Frau[1]

(1) Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Universidad Nacional de Santiago del Estero. ffrau@unse.edu.ar
(2) Universidad Nacional de Córdoba
(3) Universidad nacional de Santiago del Estero

RESUMEN

Este estudio es un análisis preliminar para la elaboración de quesos de cabra de coagulación ácida, elaborados con cultivos comerciales de origen bovino.
El objetivo del presente trabajo fue estudiar el comportamiento de fermentos lácticos comerciales, y evaluar su perfil de acidificación a dos temperaturas, en leche entera y descremada.
Las curvas obtenidas muestran que la mayor velocidad de acidificación ocurre a 30ºC, con un período de 5h en el que el cultivo se adapta al sustrato; estos valores señalan la necesidad de analizar la inoculación previa del fermento.
Existen diferencias significativas en los valores de acidez y pH a partir de las 5 horasentre leche entera y parcialmente descremada, registrándose una menor velocidad de acidificación en esta última. La leche parcialmente descremada también alcanza valores de acidez y pH adecuados para la obtención de productos fermentados al final del ensayo (pH 5,32 y 59º D).
Se construyó una curva de regresión que permitiría pronosticar el tiempo de incubación.
Los fermentos comerciales son apropiados para la elaboración de quesos de cabra de coagulación ácida a 30ºC, con leche entera y parcialmente descremada.

ABSTRACT

This study is a preliminary analysis for the elaboration of acid coagulated goat cheeses, made with bovine commercial starters
The aim of the present work was to study the behavior of commercial starter, and to evaluate their acidification profile at two temperatures.
Acid profiles obtained show the highest acidification rate occurs at 30ºC, with a period of 5h in which the culture adapts to the substrate. These values indicate the need to explore with a previous inoculation of the ferment.
There are significant differences in the acidity and pH values after 5 hours between whole and partially skimmed milk, with lower rate of acidification in the latter. It is important to emphasize that partially skimmed milk also reaches adequate acidity and pH values to obtain fermented products (pH 5.32 and 59º D) at the end of the test.
A regression curve was constructed, which would allow to predict the incubation time to reach a desired pH value.
Commercial ferments are appropriate for making acid coagulated goat cheeses at 30ºC, with whole and partially skimmed milk.

Palabras claves: Quesos de coagulación ácida – Quesos de cabra – Cultivos comerciales – Curvas de acidificación

Keywords: Acid coagulated cheeses - Goat cheeses - Commercial lactic cultures - Acidification curve

1 INTRODUCCIÓN

1.1 *Bacterias Lácticas*

Las Bacterias Acido Lácticas (BAL) son bacterias grampositivas no formadoras de esporas que producen ácido láctico como producto de fermentación único o mayoritario a partir de la fermentación de azúcares. Se caracterizan por desempeñar un papel importante en los procesos de fermentación; ellas son muy utilizadas en la industria alimentaria, no solamente por su habilidad en acidificar y por lo tanto preservar alimentos, sino también por su efecto en la textura, sabor, olor y desarrollo de aromas de alimentos fermentados (Parra, 2010).
Dentro de la industria de alimentos, las BAL se suelen emplear como fermento en la elaboración de quesos, yogures, entre otros alimentos. La acidificación producida por este grupo de bacterias mejora la coagulación de la leche, favoreciendo el proceso de desuerado de la cuajada (Frau, 2011).
La fermentación supone la transformación microbiana de un producto mediante el catabolismo de los carbohidratos, proceso en el que se forman ácidos orgánicos, alcoholes y/o CO_2. Este proceso modifica las características organolépticas de la materia prima, obteniéndose una amplia gama de productos fermentados como yogur, queso, manteca, embutidos, encurtidos, productos de panadería y diversas bebidas fermentadas (García et al, 2020; Frau 2011).

1.2 *Quesos de coagulación ácida*

Los quesos de coagulación ácida (QCA) son aquellas variedades producidas por coagulación de la leche, crema o suero por acidificación o combinación de ácido y calor, los cuales están listos para el consumo una vez que el proceso de elaboración ha terminado(Guinee et al., 1999).
A diferencia de las variedades de coagulación enzimática, en los cuales el coágulo seproduce en un rango de pH de 6,4 a 6,6; en los QCA la coagulación ocurre a valores de pHcercanos al punto isoeléctrico de la caseína. En estas variedades se suele utilizar una pequeña cantidad de cuajo, con el objetivo de otorgar mayor firmeza al coágulo y minimizar las pérdidas de caseína(Guinee et al, 1999 y Guinee, 2007).
Esta forma de coagulación de las caseínas implica la acción de ácidos orgánicos (tales como láctico, acético y/o cítrico) los cuales pueden ser agregados como tales, o bien, producidos *in situ* por acción de BAL (Frau, 2011; Guinee et al., 1999).
Los quesos untables se producen por coagulación ácida. Este producto es un queso blando y homogéneo, blanco, de textura suave al paladar y ligeramente ácido. El producto tiene una vida útil, o vida de estante, de 2 a 4 semanas a una temperatura menor a8ºC. La estabilidad está dada por ausencia de deterioro por desarrollo de microorganismos, sinéresis, desarrollo de textura granulada y sabores demasiado ácidos oamargos (Guinee et al., 1999).

1.3 *Cultivos comerciales*

Actualmente, la producción dela gran mayoría de productos lácteos fermentados derivados de la leche utiliza cultivos iniciadores comerciales. El uso de este tipo de cultivos y de métodos de elaboración controlados ha tenido un impacto positivo en la calidad, proporcionando productos microbiológicamente más seguros y con propiedades organolépticas y reológicas reproducibles (Frau 2011).

Este estudio es un análisis preliminar para la posterior elaboración de quesos untables de cabra, elaborados con cultivos comerciales de origen bovino. Dada la importancia de la acidificación de la leche en la elaboración de QCA (como quesos untables), resulta importante determinar las curvas de acidificación de los cultivos iniciadores comerciales en las condiciones de elaboración deseadas; atendiendo entre otras cuestiones, a que las cepas comerciales son aisladas de productos bovinos y serán empleadas en la elaboración de quesos caprinos.

El Objetivo del presente trabajo fue estudiar el comportamiento de fermentos lácticos comerciales para elaborar quesos untables de cabra de fermentación mixta y evaluar su perfil de acidificación a dos temperaturas, en leche entera y descremada.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 *Materia Prima*

Leche

Para el análisis se empleó leche de cabra fresca proveniente de un pequeño tambo de Santiago del Estero con sistema de pastoreo extensivo. La leche se obtuvo del pool de ordeñe de la mañana, la misma se mantuvo a temperatura de refrigeración hasta su análisis y procesamiento en la Planta Piloto de Procesamiento de Alimentos (FAyA-UNSE). Los ensayos se llevaron a cabo en los meses de octubre, noviembre y diciembre.
La leche obtenida fue separada en dos fracciones, una de las cuales se utilizó con el contenido graso de origen y la otra fue descremada.

Fermento comercial

Se empleó el fermento comercial CHN-22 de Christian Hansen. Se trata de un cultivo mesófilo aromático, tipo LD, apropiado para la producción de quesos frescos de coagulación ácida o mixta. El mismo está formado por: *Lactococcus lactis subsp. cremoris*, *Lactococcus lactis subsp. Lactis biovar. diacetylactis*, *Lactococcus lactis subsp. lactis*, *Leuconostoc mesenteroides* y *Leuconostoc pseudomesenteroides*.

2.2 *Proceso de Descremado de la leche*

La leche fue descremada empleando una separadora - descremadora marca COMEK con capacidad 80-100 L/h y 10500±1000 RPM. Para obtener un porcentaje de grasa de ≈2±0,5% grasa fue necesario realizar dos ciclos de descremado, de acuerdo a Leguizamón Carate et al(2019).

2.3 *Determinación de la composición de la leche*

Para el análisis de leche se empleó un analizador automático MilkAnalyzer Master Pro Touch calibrado empleando técnicas oficiales, de acuerdo a INTI Rafaela. Se realizaron determinaciones de grasa, proteína, lactosa, densidad y sólidos no grasos en leche entera y descremada.

2.4 *Curvas de acidificación*

La leche a emplear se calentó hasta 85ºC y luego se enfrío a la temperatura del ensayo: 30 o 37º C.
La leche a temperatura de ensayo fue inoculada con el fermento láctico disuelto en leche estéril, deacuerdo a las indicaciones del distribuidor (1mL de fermento en 1000 mL de leche) y se mantuvo a 30 o 37ºC hasta la coagulación de la leche.
Para construir las curvas de acidificación se tomaron muestras a intervalos regulares de tiempo para determinar pH empleando pHmetro portátil Hanna Instrumens HI99161 y acidez Dornic (ºD) según AOAC (1990).
El experimento se realizó por duplicado y de cada muestra se realizaron dos determinaciones.
Los datos se analizaron empleando el software estadístico INFOSTAT, para cual se realizó ANOVA y se evaluaron las diferencias con correlación de Pearson. Las curvas se construyeron empleando Excel.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 *Composición de la leche*

La composición promedio de la leche entera y parcialmente descremada se muestra en la Tabla 1.
Los resultados de composición de la leche entera coinciden con lo informado por este mismo grupo de trabajo para leche de cabra de la provincia (Frau et al, 2012). Puede observarse que tanto el porcentaje medio de grasa y Sólidos Totales (ST) encontrados para la leche de cabra en Santiago del Estero son superiores a los publicados por otros autores, mientras que el valor medio de proteína se encuentra dentro del contenido medio reportado para rebaños en otras regiones. Los elevados valores de composición encontrados hacen que la leche de cabra de la región sea una alternativa potencial a los problemas de desnutrición de algunos sectores de la población y un atractivo para las fábricas elaboradoras de queso, que verán incrementado el rendimiento quesero(Frau et al, 2012).
Si bien no existen valores de otros autores que permitan comparaciones, ya que el descremado depende de las condiciones operativas empleadas, puede observarse una reducción del 68,5% de grasa en dos ciclos de descremado.
Durante el trabajo pudo observarse que un tercer ciclo de descremado no reduce significativamente la separación de grasa, lo que coincide con Leguizamón Carate et al (2019) y se incrementan los riesgos de contaminación.
Como resultado del desgrasado puede observarse diferencias significativas en la densidad de la leche ($p < 0,05$).

El análisis estadístico realizado demuestra que no existen diferencias significativas ($p > 0,05$) en el resto de los parámetros analizados, demostrando que no son afectados por la operación de descremado.

Tabla 1**:** Composición promedio de la leche entera y parcialmente descremada empleada en los ensayos.

Leche	Grasa (%)	SNG (%)	ST (%)	Densidad (g/mL)	Proteína (%)	Lactosa (%)
Entera	4,83	7,34	12,17	1,0384	3,38	3,22
Parcialmente Descremada	1,52	7,43	8,95	1,0092	3,28	3,32

SNG: Sólidos No Grasos
ST: Sólidos Totales

3.2 *Curvas de acidificación de leche a entera*

En las Figuras 1 y 2 se muestran las curvas de acidificación para leche de cabra a 30 y 37ºCcon los resultados de pH y acidez registrados. Ambas figuras muestran que el fermento ensayado tiene una mayor velocidad de acidificación a 30ºC que a 37ºC. Los perfiles indican una fase de 4 h en las que no hay variación en los parámetros analizados. Pasado este tiempo se observa un aumento en la producción de ácido que da como resultados la disminución del pH y el aumento de acidez en ºDornic. Al cabo de 9 horas de estudio el ensayo a 30ºC presenta los siguientes valores: pH 4,84 y acidez 89,5; mientras que el ensayo a 37°C arroja: pH 5,89 y acidez 39º D. El tiempo de estabilización informado por el laboratorio en leche de vaca es de 2,5 h, lo que demuestra que al tratarse de leche de cabra es necesario mayor tiempo para que el cultivo pueda adaptarse a las condiciones de proceso y la materia prima empleada.
El análisis estadístico realizado demuestra que existen diferencias significativas ($p<0,05$) desde las 5 h de ensayo entre las dos temperaturas estudiadas.

De acuerdo con el análisis estadístico efectuado, existe una relación inversamente proporcional entre el tiempo de incubación y el valor de pH, los datos muestran un coeficiente de correlación de Pearson de $-0,9357$ para el ensayo a 30ºC y de $-0,9018$ para el ensayo a 37ºC, respectivamente; lo cual indica una alta correlación negativa y concuerda con lo informado por Gonzalez Berrios, (2006). Estos valores corroboran la correlación existente entre las variables y su mayor impacto en la fermentación a 30ºC.

Los resultados encontrados indican que la temperatura adecuada para la producción de quesos untables de cabra es de 30ºC, de manera de asegurar el crecimiento del inóculo empleado para la fermentación y alcanzar la producción de ácido láctico necesaria para lograr valores seguros para el producto desarrollado.
Los resultados obtenidos indican, también, la necesidad de explorarlos realizando un fermento previo que permita disminuir los tiempos de adaptación del inóculo al nuevo sustrato.

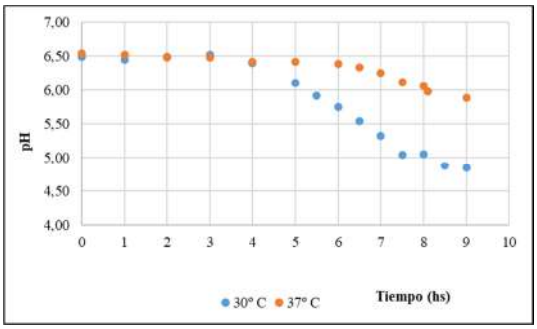


Figura 1:Variación de pH en función del tiempo en leche de cabra a 30 y 37ºC.

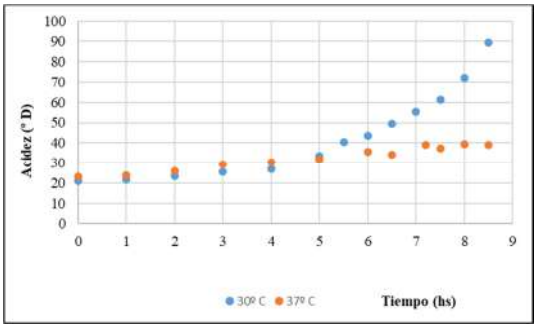


Figura 2:Variación de acidez (ºD) en función del tiempo en leche de cabra a 30 y 37° C.

3.3 *Curvas de acidificación a 30ºC de leche entera y reducida en grasas.*

Habiendo definido que la incubación a 30ºC permite una mayor velocidad de producción de ácido, y teniendo en cuenta que se planea el desarrollo de quesos enteros y reducidos en grasa, se decidió estudiar si el contenido de grasa de la leche afecta las condiciones de acidificación.
En las figuras 3 y 4 se muestran las variaciones de pH y acidez a 30ºC para leche entera y descremada.

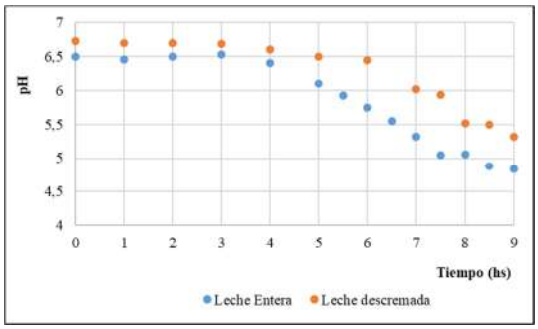


Figura 3: Variación de pH en función del tiempo en leche de cabra entera y descremada a 30ºC

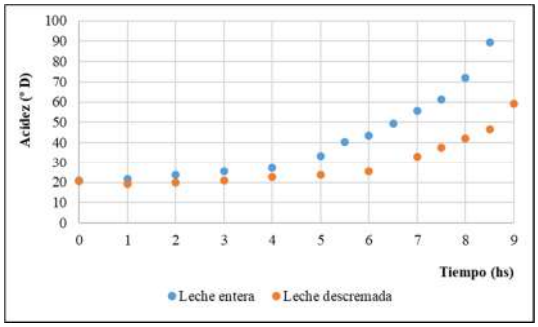


Figura 4: Variación de acidez (º D) en función del tiempo en leche de cabra entera y descremada a 30ºC.

De los resultados obtenidos se observa que existen diferencias en los valores de acidez y pH a partir de las 5 horas ($p<0,05$), demostrándose una menor velocidad de acidificación en la leche reducida en grasa.
Es importante recalcar que, si bien el aumento de acidez es menor en leche reducida en grasas, puede observarse que alcanza valores adecuados para la obtención de productos fermentados al final del ensayo (pH 5,32 y 59º D).
De acuerdo a Casalta (1995) las cepas de *Lactococcussp*. son frecuentemente incluidas en los cultivos de quesería debido a que acidifican rápidamente, lo que de acuerdo con Karimi et al (2012), cobra importancia debido a que la disminución rápida del pH de la cuajada inhibe el desarrollo de microorganismos indeseables. En un estudio realizado por Alonso-Calleja et al. (2002), las cepas de lactococos fueron divididas en dos grupos en función de la velocidad de producción de ácido. Las cepas rápidas coagularon el medio en menos de 18 h, mientras las cepas lentas necesitaron al menos 36 horas para formar el coágulo (Ramírez-López y Vélez-Ruiz, 2018); puede observarse que las cepas mencionadas forman parte del inóculo seleccionado como cultivo iniciador.
Se estableció la curva de acidificación tomando en cuenta los valores de tiempo y pH obtenidos, obteniendo las ecuaciones de regresión y valores de R^2 que se muestran en la Tabla 2. En ambos casos (leche entera y descremada) se obtuvieron valores de R^2 que indican que los datos tienen un alto ajuste al análisis realizado permitiendo predecir la acidez a partir de los valores de tiempo y temperatura cuando el proceso se realiza bajo las mismas condiciones que el presente estudio(Gonzalez Berrios, 2006). Este es un dato importante teniendo en cuenta la relevancia de estandarizar los procesos de manera de obtener productos similares y poder detectar anomalías durante el período de fermentación.

Tabla 2: Ecuación de Regresión y Valores de R^2 para la fermentación de leche entera y descremada a 30ºC.

Leche	**Ecuación**	**R^2**
Entera	pH = -0,2156t + 6,8976	0,8758
Reducida en grasas	pH = -0,1579t + 7,0233	0,818

En las Figuras 5 y 6 se muestran las curvas obtenidas y pronosticadas. El análisis estadístico muestra que no existen diferencias significativas entre el valor pronosticado y el valor experimental ($p<0,05$). Este valor comprueba que la ecuación explica el valor de pH alcanzado en el

producto como resultado del tiempo de incubación.

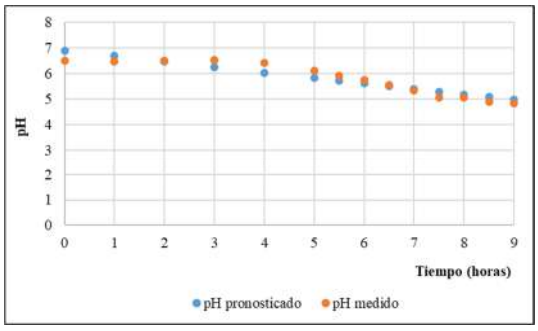


Figura 5: Comparación de pH pronosticado y medido en la fermentación de leche entera de cabra a 30ºC.

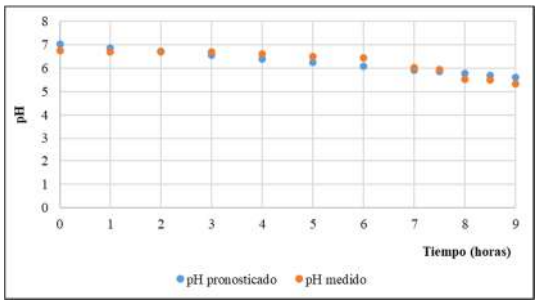


Figura 6: Comparación de pH pronosticado y medido en la fermentación de leche reducida en grasa de cabra a 30ºC.

4 CONCLUSIONES

El fermento comercial seleccionado es apto para la producción de quesos de coagulación ácida en leche de cabra a 30º C.

Es necesario el estudio de la curva de acidificación empleando un cultivo previamente activado, a efectos de reducir el tiempo de acidificación.

5 REFERENCIAS

Alonso-Calleja, C., Carballo, J., Capita, R., Bernardo, A.y García-López, M.L. (2002). Comparison of acidifying activity of Lactococcus lactis subsp. lactis strains isolated from goat's milk and valdeteja cheese.*Letter Applied Microbiology*,34,134–138.

Association of Official Analytical Chemists. (1990). Official Methods of Analysis of AOAC International. 15th edition, Volume 2.

Casalta,E.,Vassal,Y.,Desmazeaud, M.J.,yCasablanca, F. (1995).Comparaison del'activitée acidifiante de souches de Lactoccocuslactisisolées de latí de corse. *Lebensmittel-Wissenschaft un Technologie*, 28,291-299.

Frau, F. (2011). Desarrollo de Quesos Untables de Cabra usando Fermentos Lácticos Autóctonos, como Estrategia Tecnológica para la Cuenca Caprina de Santiago del Estero. Tesis de Doctorado.

Frau, F., Font de Valdez, G., Paz, R y Pece, N. (2012). Composición fisicoquímica y calidad microbiológica de leche de cabra producida en la provincia de Santiago del Estero (Argentina). *Revista De La Facultad De Agronomía, La Plata*, 111(1), 1–19.

García, G. S., Fresno, J. M., Virto, M., Amores, G., yAranceta, J. (2020). La microbiota del queso y su importancia funcional. *Revista Española de Nutrición Comunitaria*, 26(4), 248–256. https://doi.org/10.14642/RENC.2020.26.4.5344

Gonzales Berrios, A. (2006). Establecimiento de una curva de acidificación del yogur Zamorano.Tesis de grado.

Guinee, T. (2007). Salt in Cheese. En: Cheese problems solved. Ireland, Woodhead Publishing.

Guinee, T.; Pudja, P. yFarkye, N. (1999). Fresh Acid-Curd Cheese Varieties. En: Cheese:Chemistry, Physics and microbiology. Aspen Publishers Inc., Maryland.

Karimi, R., Mortazavian, A.M. y Amiri-Rigi, A. (2012). Selective enumeration of probiotic microorganisms in cheese, *Food Microbiology*,29, 1–9.

Leguizamón Carate, J., Salinas, F., y Frau, F. (2019). CyTAL ®-ALACCTA 2019. XXI Congreso Latinoamericano Y Del Caribe De Ciencia Y Tecnología De Alimentos.

Parra, R. (2010). Review. bacterias acidolacticas: papel funcional en los alimentos. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*: BSAA, 8(1), 93–105.

Ramírez-López, C., y Vélez-Ruiz, J. F. (2018). Effect of Goat and Cow Milk Ratios on the Physicochemical, Rheological, and Sensory Properties of a Fresh Panela Cheese. *JournalofFoodScience*, 83(7), 1862–1870. https://doi.org/10.1111/1750-3841.14195.

Estudio del mecanismo de acción insecticida del aceite esencial de hojas de *Aloysia polystachya* contra *Rhipibruchus picturatus*

Tapia Mattar, Valeria[1]; Hollmann, Axel[2]; Rodriguez, Sergio A.[1]

(1)Facultad de Agronomía y Agroindustrias (FAyA), Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE), Consejo Nacional de Investigación Científicas y Técnicas (CONICET). valeriatapiamattar@gmail.com; drsergiorod@gmail.com

(2) Laboratorio de Compuestos Bioactivos, Centro de Investigación de Biofísica Aplicada y Alimentos (CIBAAL)-CONICET- Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE).ahollmann@gmail.com

RESUMEN

El fruto de *Prosopis Alba* Griseb, la algarroba, constituye una importante alternativa productiva en la economía del noroeste argentino.Los brúquidosson los insectos plaga más abundantes de este fruto.Los aceites esenciales (AE) de las plantas representan una importante fuente de insecticidas ecológicos, ya que son biodegradables y no presentan efectos tóxicos contra humanos y animales. Recientemente, se determinó que el AE de hojas de *Aloysia polystachya*posee actividad insecticida y repelentefrente al brúquido*Rhipibruchus picturatus*.Además se evaluó la actividad inhibitoria del AE sobre la enzima acetilcolinesterasa (AChE). El objetivo del presente trabajo es estudiarel mecanismo de acción insecticida de este AE analizando su influencia sobre el sistema antioxidante de los insectos. Para ello se evaluaron la actividad de las enzimas superóxido dismutasa (SOD) y catalasa (CAT), y la formación de productos secundarios del estrés oxidativo a través del ensayo de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS) luego de la exposición de los insectos a diferentes dosis de este AE.Se observóuna respuesta al estrés oxidativo evidenciado por alteraciones en la actividad de las enzimas SOD y CAT y un aumento en la formación de TBARS.

Palabras clave: Plagas de insectos-Plantas aromáticas-Pesticidas naturales-Mecanismos de acción

ABSTRACT

The fruit of*Prosopis Alba* Griseb, called algarroba, constitutes an important productive alternative for the economy of the Northwestern Region of Argentina. The bruchidsare the most abundant plaguesof the seeds of this fruit. The essential oils (EO) of plants represent an important source of ecological insecticides because they are biodegradables and don´t represent a risk to the health of humans or animals.Recently, the insecticidal and repellent activities of theEO from the leaves of*Aloysia polystachya* against the bruchid *Rhipibruchus picturatus*were determined. Previously, the inhibitory activity of the EO on the enzyme acetylcholinesterase (AChE) was evaluated.The main goal of this work is to study the mechanism of insecticidal action of this EO, studying its influence on the antioxidant system of insects. For this, the activity of the enzymes superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT) and the formation of secondary products of oxidative stress were evaluated through the assay of reactive substances to thiobarbituric acid (TBARS) after the exposure of the insects to different doses of this EO. A response to oxidative stress was observed, evidenced by alterations in the activity of the SOD and CAT enzymes and an increase in the formation of TBARS.

Keywords: Insects pest-Aromatic plants-Natural pesticides-Mechanism of action

1. INTRODUCCIÓN

Prosopis alba Griseb(Algarrobo blanco) es una de las especies nativas más importantes de nuestro país. Su fruto, la algarroba, posee un alto contenido de carbohidratos y proteínas. Por su alto valor nutricional es utilizado como fuente de alimentopor la población local(Prokopiuk et al., 2010).Además, en los últimos años se desarrollaron emprendimientos regionales en donde se comercializan los productos derivados de este fruto, por lo que sirve de sustento económico para muchas familias. La algarroba también es utilizada como complemento forrajero de ganados bovino, porcino y especialmente caprino en época de gestación y para su terminación(Capparelli, 2007).Este fruto es susceptible al ataque de los insectos de la familia Bruchinae(Rodríguez, 2018), que son conocidos comúnmente como brúquidos y se alimentan de las semillas de la algarroba, afectando su calidad nutricional.En particular, dentro de esta familia, unade las principales plagas de este fruto es *Rhipibruchus picturatus*(F). Normalmente, estos insectos realizan una ovoposición externa, la larva atraviesa el epi, meso yendocarpio, completando su ciclo dentro de la semilla hasta convertirse en pupa, para queposteriormente pueda emerger el adulto.Para controlar esta plagase utilizan insecticidas y fumigantessintéticos, principalmente losorganofosforados(Ayvaz et al., 2010; Hertlein et al., 2011; Pajaro-castro et al., 2015). Sin embargo, su aplicación excesiva acelera la acumulación de genes asociados con la resistencia en los insectos sobrevivientes y provoca el desarrollo de resistencia (Dhaliwal et al., 2008).Además,las aplicaciones a largo plazo de insecticidas sintéticos generan efectos adversos en organismos no objetivos, ecosistemas y en la salud humana(Koul et al., 2008).Se reportaron en varios estudios que la toxicidad de los insecticidas organofosforados se basa en la inhibición de la enzima acetilcolinesterasa (AChE) y el deterioro del sistema de defensa antioxidante de los insectos(Gbaye et al., 2012).La AChE, presente principalmente en el espacio sináptico de los insectos, es responsable de la hidrólisis de la acetilcolina, un importante neurotransmisor(Chaudhari et al., 2021). La inhibición de esta enzima produce una acumulación del neurotransmisor acetilcolina en la sinapsis nerviosa y una alteración de la función nerviosa(Constantine et al., 2003).

Por otra parte, las enzimas antioxidantes como la superóxido dismutasa (SOD) y la catalasa (CAT) proporcionan defensas contra patógenos e insecticidas (Jia et al., 2016). La exposición de los insectos a distintas sustancias nocivas puede producir especies reactivas de oxígeno (EROs) por alteración del sistema antioxidante celular(Kristoff et al., 2008). La maquinaria antioxidante interna es capaz de minimizar los efectos tóxicos de las EROs, ya sea eliminándolas o transformándolas en compuestos menos dañinos. Las enzimas mencionadas ejercen su efecto beneficioso al convertir estos compuestos tóxicos primero en peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y luego en oxígeno (O_2) y agua (H_2O) como lo muestra la Fig.1.

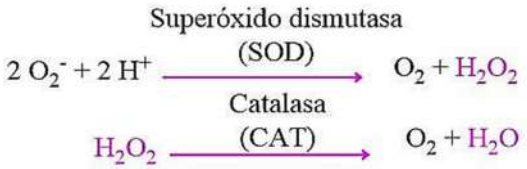


Figura 1: Reacción de las enzimas SOD y CAT en el sistema antioxidante

Las EROs, pueden reaccionar con macromoléculas biológicas y conducir al daño oxidativo de proteínas, lípidos y ADN(Armutc, 2005). Uno de los principales productos de la peroxidación lipídica es el malondialdehido (MDA), un indicador del nivel de oxidación de los fosfolípidos de membrana (Birben et al., 2012).Este compuesto se cuantifica a partir de su reacción con el TBA (ácido tiobarbiturico).

Las preocupaciones ambientales y los riesgos asociados a la salud obligaron a las industrias y a la comunidad científica a buscar y explorar alternativas racionales al empleo de insecticidas sintéticos(Ayvaz et al., 2010; Campolo et al., 2018). En los últimos años, eluso de aceites esenciales (AE) de plantas y sus constituyentes están siendo explorados como insecticidas de bajo riesgo. Esto se debe a las ventajas que presentan frente a los insecticidas sintéticos, como baja persistencia en el medio ambiente y poca toxicidad para los mamíferos (Polato et al., 2016; Prakash, 2015; Taylor et al., 2014.). Además, los AE tienen baja probabilidad de generar

resistencia en los insectos debido a los múltiples sitios de acción en los cuales pueden actuar (Benzi et al., 2014).

Aloysia polystachya (Griseb.), Moldenke, es una planta aromática de la familia Verbenaceae. Se encuentra ampliamente distribuida en las regiones subtropicales de América del Sur, principalmente Paraguay y el norte de Argentina (Mora et al., 2005). La decocción de sus hojas y flores es muy utilizada en la medicina popular para el tratamiento de trastornos gastrointestinales, como dolor, náuseas, vómitos y gastritis(Hellión-Ibarrola et al., 2006).En un trabajo recientemente publicadose determinó que el AE obtenido de las hojas de esta planta, en la provincia de Santiago del Estero, está compuesto principalmentepor los monoterpenos carvona y limoneno(Tapia Mattar et al., 2023). Además, en la búsqueda de alternativas de control de plagas, se estudió su potencial acción insecticida y de sus principales compuestos contra la plaga *R. picturatus* (Tapia Mattar et al., 2023) .Se determinó que el AE y los compuestos puros poseen potente actividad insecticida contra esta plaga (Fig. 2). Como se mencionó para los insecticidas sintéticos, los AE pueden dañar o alterar el funcionamiento normal del sistema nervioso de los insectos. En este sentido, se demostró que el AE obtenido de las hojas de *A. polystachya*, el limoneno y la carvona inhiben la actividad de la AChE de *R. picturatus*. Se obtuvo un valor de IC_{50} = 0,145 mg/mL (concentración inhibitoria del 50 % de la actividad) para el AE de *A. polystachya*. Para analizar la posible contribución de los compuestos mayoritariosdel AE, es decir, carvona y limoneno, se evaluó el efecto inhibitoriode la actividad delaAChE de cada compuesto a una concentración final de aproximadamente 0,045 mg/mL.A dicha concentración, cada compuesto puro y el aceite volátil mostraron un efecto similar, lo que sugiere que ambos componentes están implicados en la inhibición sobre la actividad de la AChE.

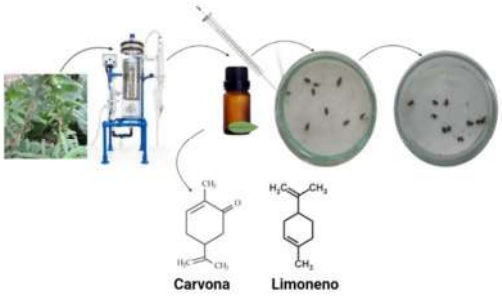


Figura 2: Evaluación de la actividad insecticida del AE de hojas de *A. polystachya* contra *R. picturatus*.

Debido a que este resultado solo explica parcialmente el efecto insecticida del AE, proponemos comoobjetivo del presente trabajo continuarestudiando los mecanismos de acción insecticida del AE de hojas de *A. polystachya* contra *R. picturatus*.Para ello se evaluó la actividad de las enzimas SOD y CAT, y la formación de productos secundarios del estrés oxidativo a través del ensayo de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS) luego de la exposición de losinsectos a diferentes dosis deeste AE.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1*Colonias de insectos y condiciones de cría*

Las colonias de *Rhipibruchus picturatus* se establecieron a partir de vainas de Prosopis alba infestadasubicadas en Villa El Zanjón, Santiago del Estero, Argentina(27°52'19.2"S 64°14'35.6"W). Los insectos emergentes fueroncolocados en botellas de plástico (6×12 cm^2) y alimentados con vainas de *Prosopis alba*no infectadas. Los insectos se mantuvieron a 26 ± 2°C bajo un fotoperíodo de 12:12 h luz/oscuridad. Los insectos fueron identificados según sus características morfológicas según se describe en Kingsolver et al., (2014).

2.2*Preparación del homogenato de R. picturatus*

El objetivo del homogenato es extraer las enzimas y el MDA de los insectos para realizar los ensayos posteriores. Para su preparación 10 insectos adultos fueron expuestos a diferentes dosis subletales del AE de hojas de *A. polystachya* durante 24 horas (N=3).Las dosis de

AE se seleccionaron en base a los resultados de toxicidad por contacto (Tapia Mattar et al., 2023). Cada dilución fue aplicada un papel de filtro contenido en una placa de Petri de 6 cm de diámetro. Transcurridas las 24 horas los insectos se maceraron en buffer Tris-HCl 100 mM (pH 8). La muestra se centrifugó a 8000 rpm, durante 12 minutos y se utilizó el sobrenadante para los ensayos subsiguientes (Fig.3). Además, se preparó como control un homogenato con insectos que no fueron expuestos al AE.

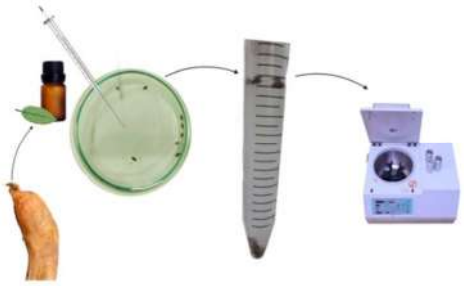


Figura 3: Preparación del homogenato de insectos brúquidos.

2.3 *Evaluación de la actividad de la enzima SOD*

La actividad de SOD se estimó utilizando una modificación del método desarrollado porMarklund y Marklund (1974), el cual se basa en la autooxidación del pirogalol (1,2,3-bencenotriol o ácido pirogálico). Este compuesto se autooxida rápidamente en soluciones alcalinas generando radicales superóxido. La autooxidación del pirogalol da lugar a la formación de purpurogalina, un compuesto amarillo-marrón con un pico máximo de absorbancia a 420 nm(Gao & Yuan, 1998). Cuando hay SOD presente en el medio, la enzima compite con el pirogalol por el radical superóxido, inhibiéndose la reacción de autooxidación, lo que implica menor formación de purpurogalina. Para realizar este ensayo se mezclaron 400 µl de homogenato de los insectos expuestos a diferentes concentraciones del AE con 400 µL de pirogalol.Se realizó un control con homogenato de insectos que no estuvieron expuestos al AE. La actividad de la enzima SOD se midió en un espectrofotómetro a 420 nm. La actividad específica de SOD se expresó en unidades/microgramo de proteína (U/µg prot). El contenido de proteínasdel homogenato fue determinado por el método de Bradford (Bradford, 1976).

2.4 *Evaluación de la enzima CAT*

La actividad CAT se estimó utilizando el método descripto por Claiborne (1985), cuyo fundamento se basa en la capacidad que tiene la enzima CAT de transformar el H_2O_2 en H_2O y O_2. La reacción se llevó a cabo con 300µl de homogenato de insectos y la adición de 300µL de H_2O_2. La actividad catalasa se cuantifica monitorizando la velocidad de consumo de H_2O_2 a partir de la disminución de absorbancia a 240 nm.La actividad específica de CAT se expresó en U/µg prot.

2.5 *Determinación de la formación de MDA usando TBARS*

Uno de los marcadores de estrés oxidativo más importantes es la peroxidación lipídica. Esta se estudió mediante la formación de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS). El ensayo se llevó a cabo utilizando el método de Ohkawa et al. (1979) con ligeras modificaciones. Para ello, 100 µl del homogenato de insectos, se mezclaron con 30 µl de buffer Tris 100 mM (pH 8). El volumen se completó hasta 1,6 mL con agua destilada. La reacción se desarrolló al agregar a la mezcla de reacción: 300 µL de dodecilsulfato sódico (SDS) al 8% 500 µL de ácido acético/HCl (0,8 % v/v) y 500 µL de ácido tiobarbitúrico (TBA) (0,8% v/v). En este procedimiento, el TBA reacciona con MDA y genera un cromóforo rosa (Fig. 4), el cual se cuantifica midiendo la absorbancia a 532 nm. Los resultados se expresaron como nmoles de MDA/mg de proteínas.

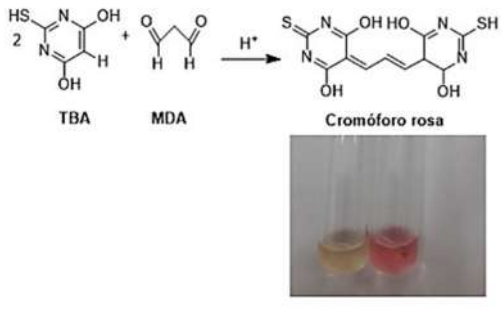


Figura 4: Reacción entre el MDA y el TBA que da lugar a la formación de un cromóforo rosa.

3 RESULTADOS

3.1 *Evaluación de la actividad de la enzima SOD*

Se comparó la actividad de la enzima SOD de insectos brúquidos que fueron expuestos a diferentes concentraciones del AE con la actividad de la enzima de insectos que no fueron expuestos al AE (Fig. 5).

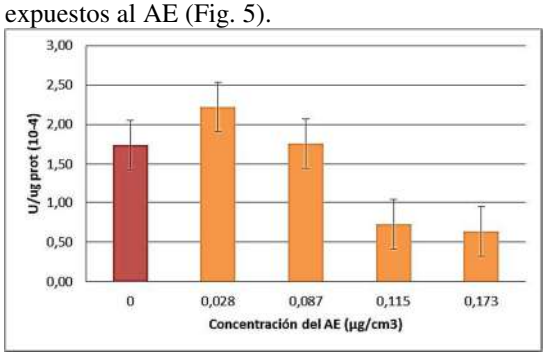


Figura 5: Actividad SOD (U/mg proteína) de *R. picturatus* expuesto al AE de hojas de *A. polystachya.*

Se observóuna ligera disminución de la actividad de la SOD en los insectos que estuvieron expuestos alas mayores concentraciones de AE de hojas de *A. polystachya*. Algunos reportes científicos encontraron un aumento significativo en la SOD la cual podría ser una respuesta adaptativa al estrés inducido por el AE. Es así que se determinóuna elevación en la actividad de esta enzima en *Sitophilus oryzae* y *Rhyzopertha dominica* expuestos al AE de *Gaultheria procumbens* y su principal compuesto salicilato de metilo(Prakash, 2015).Así también, se observó un aumento significativo en la actividad de SOD en *S. oryzae y Tribolium castaneum* expuestos al AE de *Menta piperita*y sus principales compuestos mentona y mentol en comparación con el control.Por otra parte, Jia et al. (2016)estudió el efecto de la aplicación conjunta del insecticida, matrina, y de los hongos entomopatógenos, *Lecanicillium muscarium*, en el sistema antioxidante de *Bemisia tabaci* (Gennadius). Se observó que la actividad de la enzimaSOD aumento por 3 días y en el final del período experimental, la actividad enzimática fue significativamente más baja.

3.2 *Evaluación de la enzima CAT*

En el presente trabajo secomparó la actividad de la enzima CAT de insectos brúquidos que fueron expuestos a diferentes concentraciones del AE con la actividad de la enzima de insectos que no fueron expuestos al AE (Fig. 6). Se observó un aumento de la actividad de la enzima CAT en los insectos que estuvieron expuestos al AE de hojas de *A.polystachya,* excepto cuando los insectos fueron tratados con la dosis más baja de AE.Esta enzima es importante para proteger las células del daño oxidativo y los niveles más altos de CAT observados pueden deberse a la adaptación del sistema antioxidante del insecto, a un amento en la concentración de EROs. Este efecto fue observado por Upadhyay et al. (2019) en *Tribolium castaneum* Herbst expuestos al AE de *Melissa officinalis.* Además,esta observación coincide con el aumento en la actividad de CAT en *Myzus persicae* (Czerniewicz & Chrzanowski, 2021) después del tratamiento con AE de *Santolina chamaecyparissus*.

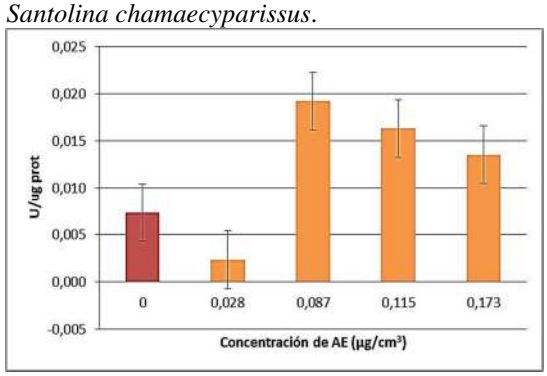


Figura 6: Actividad CAT (U/mg proteína) de *R. picturatus* expuesto al AE de hojas de *A. polystachya*

3.3 *Determinación de la formación de MDA usando TBARS*

Los resultados de este estudio mostraron un aumento significativo en la concentración de MDA en los insectos que fueron expuestos a la mayor concentración de AE. Esto se puede explicar debido a que la peroxidación lipídica se incrementa a medida que aumenta la concentración de EROs, como resultado de la exposición de los insectos al AE.Esto coincide con los resultados reportados por Pinho et al. (2014), en *Drosophilamelanogaster* luego de su exposición al AE de *Psidium guajava*.

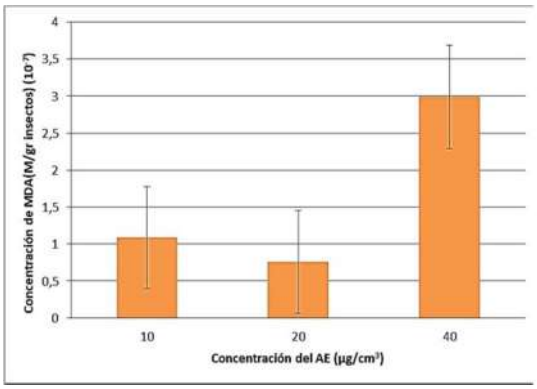


Figura 7: Concentración de MDA (M/gr insectos) de *R. picturatus* expuesto al AE de hojas de *A. polystachya.*

4 CONCLUSIONES

Para preservar la algarroba por su aporte nutricional en la dieta humana y animal, es fundamental el control de los brúquidos. Como se reportó recientemente, el AE de hojas *A. polystachya* representa una posible solución a este problema(Tapia Mattar et al., 2023). Los resultados del presente trabajo, sugieren que modo de acción de este aceite puede estar relacionado con una alteración de la homeostasis oxidativa de los insectos, modificando la actividad de las enzimas SOD y CAT e induciendo una acumulación de productos de peroxidación de lípidos, debido probablemente al aumento de los niveles de EROsdespués del tratamiento con el AE. Estos resultados confirman que el mecanismo de acción de este AE tiene diferentes blancos de acción, como se reportado para otros aceites, que incluyen la inhibición de la AChE demostrado previamente por Tapia Mattar et al.(2023) y junto a la inducción de estrés oxidativo presentada en este trabajo.

5 REFERENCIAS

Armutc, F. (2005). *Biochemical Stress Indicators of Greater Wax Moth Exposure to Organophosphorus Insecticides*. 358–366.

Ayvaz, A., Sagdic, O., Karaborklu, S., & Ozturk, I. (2010). Insecticidal activity of the essential oils from different plants against three stored-product insects. *Journal of Insect Science*, *10*(1), 1–13. https://doi.org/10.1673/031.010.2101

Benzi, V., Stefanazzi, N., Murray, A. P., Werdin González, J. O., & Ferrero, A. (2014). Composition, Repellent, and Insecticidal Activities of Two South American Plants against the Stored Grain Pests *Tribolium castaneum* and *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae). *ISRN Entomology*, *2014*, 175827. https://doi.org/10.1155/2014/175827

Birben, E., Sahiner, U. M., Sackesen, C., Erzurum, S., & Kalayci, O. (2012). *Oxidative Stress and Antioxidant Defense*. *January*, 9–19.

Campolo, O., Giunti, G., Russo, A., Palmeri, V., & Zappalà, L. (2018). Essential Oils in Stored Product Insect Pest Control. *Journal of Food Quality*, *2018*. https://doi.org/10.1155/2018/6906105

Capparelli, A. (2007). *KURTZIANA Los productos alimenticios derivados de Prosopis chilensis (Mol .) Stuntz y P . flexuosa DC ., Fabaceae , en la vida cotidiana de los habitantes del NOA y su paralelismo con el algarrobo europeo*. *33*(1), 1–19.

Chaudhari, A. K., Singh, V. K., Kedia, A., Das, S., & Dubey, N. K. (2021). *Essential oils and their bioactive compounds as eco-friendly novel green pesticides for management of storage insect pests : prospects and retrospects*. 18918–18940.

Constantine, C. A., Mello, S. V, Dupont, A., Cao, X., Santos, D., Oliveira, O. N., Strixino, F. T., Pereira, E. C., Cheng, T., Defrank, J. J., Leblanc, R. M., Gables, C., Uni, V., Paulo, D. S., Carlos, S., Paulo, S., & Carlos, S. (2003). *Layer-by-Layer Self-Assembled Chitosan / Poly (thiophene-3-acetic acid) and Organophosphorus Hydrolase Multilayers*. *3*, 130–134.

De, M., Oliné, P. M., Aramillo, M. D. Í. A. Z., Guirre, M. E. A., & Ernández, N. J. F. (2022). *A study of the antioxidant system of Apis mellifera larvae treated with Paenibacillus larvae*. *75*(2), 265–272.

Dhaliwal, G. S., & Biopesticide, I. (2008). *Essential Oils as Green Pesticides : Potential and Constraints*. *2008*, 63–84.

Gao, R., & Yuan, Z. (1998). *Mechanism of pyrogallol autoxidation and determination of superoxide dismutase enzyme activity*. 41–45.

Gbaye, O. A., Holloway, G. J., & Callaghan, A. (2012). Variation in the sensitivity of

Callosobruchus (Coleoptera: Bruchidae) acetylcholinesterase to the organophosphate insecticide malaoxon: Effect of species, geographical strain and food type. *Pest Management Science*, *68*(9), 1265–1271. https://doi.org/10.1002/ps.3293

Hellión-Ibarrola, M. C., Ibarrola, D. A., Montalbetti, Y., Kennedy, M. L., Heinichen, O., Campuzano, M., Tortoriello, J., Fernández, S., Wasowski, C., Marder, M., De Lima, T. C. M., & Mora, S. (2006). The anxiolytic-like effects of Aloysia polystachya (Griseb.) Moldenke (Verbenaceae) in mice. *Journal of Ethnopharmacology*, *105*(3), 400–408. https://doi.org/10.1016/j.jep.2005.11.013

Hertlein, M. B., Thompson, G. D., Subramanyam, B., & Athanassiou, C. G. (2011). Spinosad : A new natural product for stored grain protection. *Journal of Stored Products Research*, *47*(3), 131–146. https://doi.org/10.1016/j.jspr.2011.01.004

Jia, M., Cao, G., Li, Y., Tu, X., & Wang, G. (2016). Biochemical basis of synergism between pathogenic fungus Metarhizium anisopliae and insecticide chlorantraniliprole in Locusta migratoria (Meyen). *Nature Publishing Group*, *June*, 1–15. https://doi.org/10.1038/srep28424

Koul, O., Walia, S., & Dhaliwal, G. (2008). Essential oils as green pesticides: Potential and Constraints. *Biopestic. Int*, *4*(1), 63–84.

Kristoff, G., Guerrero, N. R. V., & Cochón, A. C. (2008). *Chemosphere Effects of azinphos-methyl exposure on enzymatic and non-enzymatic antioxidant defenses in Biomphalaria glabrata and Lumbriculus variegatus*. *72*, 1333–1339. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.04.026

MARKLUND, S., & MARKLUND, G. (1974). Involvement of the Superoxide Anion Radical in the Autoxidation of Pyrogallol and a Convenient Assay for Superoxide Dismutase. *European Journal of Biochemistry*, *47*(3), 469–474. https://doi.org/10.1111/j.1432-1033.1974.tb03714.x

Mora, S., Díaz-Véliz, G., Millán, R., Lungenstrass, H., Quirós, S., Coto-Morales, T., & Hellión-Ibarrola, M. C. (2005). Anxiolytic and antidepressant-like effects of the hydroalcoholic extract from Aloysia polystachya in rats. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, *82*(2), 373–378. https://doi.org/10.1016/j.pbb.2005.09.007

Pajaro-castro, N., Caballero-gallardo, K., Hernandez-lambra, R., Stashenko, E., & Olivero-verbel, J. (2015). *Essential oils from plants of the genus Cymbopogon as natural insecticides to control stored product pests*. *62*, 81–83. https://doi.org/10.1016/j.jspr.2015.04.004

Pinho, A. I., Wallau, G. L., Eugenio, M., Nunes, M., Leite, N. F., Tintino, S. R., Cezar, L., Assis, F., Galberto, J., Douglas, H., Coutinho, M., Posser, T., & Franco, J. L. (2014). *Fumigant Activity of the Psidium guajava Var . Pomifera (Myrtaceae) Essential Oil in Drosophila melanogaster by Means of Oxidative Stress*. *2014*.

Polato, K., Karakoc, Ö. C., Yücel, Y., & Gücel, S. (2016). *Insecticidal activity of edible Crithmum maritimum L . essential oil against Coleopteran and Lepidopteran insects*. *89*, 383–389. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.05.032

Prakash, B. (2015). *Assessment of Toxicity, Antifeedant Activity, and Biochemical Responses in Stored-Grain Insects Exposed to Lethal and Sublethal Doses of Gaultheria procumbens L. Essential Oil*. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b03797

Prokopiuk, D., Martínez-Navarrete, N., Andrés, A., Chiralt, A., & Cruz, G. (2010). Influence of roasting on the water sorption isotherms of argentinean algarroba (Prosopis alba Griseb) pods. *International Journal of Food Properties*, *13*(4), 692–701. https://doi.org/10.1080/10942910902742055

Rodríguez, S. A. (2018). Semiochemistry of the Bruchidae species. *Journal of Stored Products Research*, *77*, 148–155. https://doi.org/10.1016/j.jspr.2018.04.011

Tapia Mattar, V., Rodriguez, S., Chaves, D., & Hollmann, A. (2023). Toxicity and Repellency of the Volatile Oils from Aloysia polystachya Against Rhipibruchus picturatus (Coleoptera: Bruchinae). *Revista Brasileira de Farmacognosia*, *RBFA-D-23-*.

Taylor, P., Digilio, M. C., Mancini, E., Voto, E., & Feo, V. De. (n.d.). *Insecticide activity of Mediterranean essential oils*. *April 2014*, 37–41. https://doi.org/10.1080/17429140701843741

Prakash, B. (2015). *Assessment of Toxicity, Antifeedant Activity, and Biochemical*

Responses in Stored-Grain Insects Exposed to Lethal and Sublethal Doses of Gaultheria procumbens L. Essential Oil. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b03797

Prokopiuk, D., Martínez-Navarrete, N., Andrés, A., Chiralt, A., & Cruz, G. (2010). Influence of roasting on the water sorption isotherms of argentinean algarroba (Prosopis alba Griseb) pods. *International Journal of Food Properties*, *13*(4), 692–701. https://doi.org/10.1080/10942910902742055

Taylor, P., Digilio, M. C., Mancini, E., Voto, E., & Feo, V. De. (n.d.). *Insecticide activity of Mediterranean essential oils*. *April 2014*, 37–41. https://doi.org/10.1080/17429140701843741

Obtención de hidrolizados proteicos con actividad antimicrobiana a partir de suero de leche de cabra empleando pepsina y rennet

Varas, Romina del V.[1*]; Espeche, Juan C.[1*];Rodríguez, Silvia del C.[1,2]; Hollmann, Axel[1]

(1) Centro de Investigación en Biofísica Aplicada y Alimentos (CIBAAL), Universidad Nacional de Santiago del Estero. CONICET. Santiago del Estero. Argentina.
romy25_03@hotmail.com; juancarlosespeche@gmail.com; ahollmann@gmail.com; silviadepece@hotmail.com

(2) Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICyTA). Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Santiago del Estero. Argentina.

**los autores Varas, Romina del Valle y Espeche, Juan Carlos tuvieron igual contribución para este trabajo*

RESUMEN

La producción de leche de cabra en Argentina proviene principalmente de pequeñas empresas y la mayor cuenca lechera caprina de Argentina está ubicada en la provincia de Santiago del Estero. Uno de los mayores destinos de la leche de cabra es la producción de queso, dando como subproducto no aprovechado, el suero. Por el alto volumen de producción, es importante buscar maneras de valorizar este recurso. Se propone obtener hidrolizados de suero con actividad contra las cepas *Escherichiacoli* y *Staphylococcusaureus*. Para ello, la hidrólisis enzimática se llevó a cabo utilizando el complejo rennet y pepsina. Por medio de electroforesis SDS-PAGE se demostró que ambas enzimas alcanzaron la hidrólisis de las proteínas en péptidos más pequeños. Posteriormente, se realizaron ensayos para evaluar la actividad antimicrobiana. Los resultados obtenidos mostraron que los hidrolizados de ambas enzimas tuvieron actividad contra las bacterias evaluadas. Finalmente, se realizó una ultrafiltración para separar los péptidos según tamaño, obteniendo 4 fracciones: una mayor a 10 KDa, 5-10 KDa, 3-5 KDa y menor a 3 kDa. De estas, la fracción que más actividad antimicrobiana presentó fue la de 3 a 5 kDa

Palabras claves: Suero – Enzimas – Leche de cabra– Actividad antimicrobiana

ABSTRACT

The production of goat's milk in Argentina comes mainly from small companies,and in the Santiago del Estero province is the largest goat dairy basin in Argentina. One of the principal destinationsof caprine milk is the production of cheese. Whey is the by-product of cheese production and, due to the large volumes produced and the nutritional composition, it is important to look for ways to value this resource.This work proposes obtaining whey hydrolysates with antibacterial activity against*Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. Enzymatic hydrolysis was performed using pepsin and rennet complex. SDS-PAGE electrophoresis demonstrated that both enzymes achieved the hydrolysis of proteins into smaller peptides. Assays to assess antimicrobial activity were performed and the results obtained showed that the hydrolysates of both enzymes had activity against the evaluated bacteria. Finally, by ultrafiltration the hydrolysatewas separated into fractions according to size. Four fractions were acquired: >10, 5-10, 3-5 and <3 kDa. Of them, the one that presented the most antimicrobial activity was the one from 3 to 5 kDa.

Keywords: Whey – Enzymes – Goat milk – Antimicrobial activity

1. INTRODUCCION:

1.1 Producción caprina en Santiago del Estero

La provincia de Santiago del Estero tiene clima semiárido y se ubica en el noroeste de la Argentina; limitando al norte con las provincias de Salta y Chaco; al sur, con la provincia deCórdoba; al este, con Santa Fe y Chaco y al oeste, con las provincias de Tucumán y Catamarca (Paz et al., 2011). Por sus características climáticas, el ganado caprino puede desarrollarse adecuadamente.
La conformación del sector caprino lechero en el Rio Dulce se realizó sobre la base de la reconversión de los sistemas de producción campesinos, incorporando la actividad caprina a otras actividades ya existentes y asociándola al proceso agroindustrial, específicamente a la fabricación de quesos. Existen en la cuenca mencionada gran diversidad de tipos genéticos, fruto de cruzamientos incontrolados entre la población caprina local y diferentes razas exóticas disponibles (Frau et al., 2007).

1.2 El Lactosuero

En la fabricación de quesos, para obtener de 1 a 2 kg de queso se emplean en promedio 10 L de leche y se recuperan de 8 a 9 kg de suero, dependiendo de la cantidad de agua utilizada durante el proceso (Puente, Arroyo & Frías, 2010). El rendimiento promedio en la industria quesera es del 10% m/v, razón por la cual resulta significativa la cantidad de lactosuero producida que ronda el 90% v/v de la totalidad de leche procesada.
El suero contiene un 6-7 % m/v de sólidos totales. Las proteínas del suero representan casi el 20% m/m del total de las proteínas de la leche (Osman et al., 2016a).En la práctica existen varios tipos de lactosuero dependiendoprincipalmente de la forma de elaboración del queso, es decir de la manera en la que se elimina la caseína,el primero denominado dulce, está basado en lacoagulación por la renina (cuajo) a pH 6,5. El segundollamado ácido, resulta del proceso de fermentacióno adición de ácidos orgánicos o ácidos mineralespara coagular la caseína como en la elaboración dequesos frescos (Parra Huertas, 2009).

1.3 Composición nutricional de la leche de cabra

La información nutricional de la leche de cabra indica que aporta 70Kcal por 100ml y que además posee vitaminas: A, D y C, y en menor cantidad B1, B2, B3, B5 y B12. Minerales: calcio, fósforo, potasio, magnesio, hierro, zinc, selenio, manganeso y cobre (Bidot-Fernandez, 2017) . Resulta importante destacar que la leche de cabra al contener un porcentaje menor de lactosa que las demás leches es considerada antialérgica. Sus glóbulos o gotas de grasa (2 µm en la leche de cabra contra un promedio de 3-5 µm en la de vaca) son más pequeños y, por lo tanto, más digeribles. Es el perfil lipídico y, muy particularmente los ácidos grasos libres de cadena corta, los responsables del sabor y aroma propio (“caprino”) de la leche de cabra, observándose una correlación entre su presencia y concentración y el aroma de sus derivados.

1.4 Proteínas del lactosuero de cabra.

El suero está compuesto fundamentalmente por lactosa de la leche original, las proteínas solubles (lactoalbúminas y lactoglobulinas), un pequeño porcentaje de grasa y la mayor parte de las sales minerales de la leche en los que se destacan citratos, fosfatos, calcio, potasio, etcétera, así como las vitaminas hidrosolubles, destacándose la riboflavina, el ácido pantoténico y la vitamina C. Cabe aclarar que las vitaminas liposolubles están prácticamente ausentes en el suero, ya que pasan, junto con la grasa, a formar parte del queso.
Las proteínas de la leche se dividen en dos grupos principales: la caseína, que constituye el 80% m/m del total, y la proteína de suero que constituye el resto. La leche contiene cientos de tipos de proteínas, la mayoría de ellas en muy pequeñas cantidades. Estas pueden ser clasificadas de varias formas, de acuerdo con sus propiedades físicas o químicas, así como también con sus funciones biológicas. Entre las principales proteínas presentes en la leche de los mamíferos pertenecientes al grupo de las caseínas son la αs1-CN, αs2-CN, B-CN, β-CN y las k-

Caseínas, indispensables para el aprovechamiento industrial de los productos lácteos(Bedoya Mejía et al., 2012). Por otra parte, las principales proteínas del suero son la beta lactoglobulina (b-lg), la a-lactoalbúmina (a-la), las inmunoglobulinas (lg) y la albúmina del suero (SA). Además, el suero contiene una serie de proteínas menores como la lactoferrina (LF), la lactoperoxidasa y varios factores de crecimiento (Osman et al., 2016b)

1.4 El suero y la contaminación ambiental.

Años atrás se consideraba al suero lácteo como un desperdicio o desecho de la industria, pero en la actualidad se busca disminuir el impacto ambiental que tiene su eliminación en vertientes de ríos, con las gravísimas consecuencias ambientales por su contaminación.
Actualmente, se considera que el suero es un subproducto con un gran potencial y valor agregado. El suero de leche bovina se ha utilizado en la composición de varios productos alimentarios, incluidos productos lácteos líquidos o en polvo, que suelen ser más accesibles que la leche entera. Sin embargo, el suero de leche de cabra no se utiliza de forma eficaz. Este hecho se explica por el peculiar sabor de la leche de cabra, que es ácido y generalmente inaceptable para el consumidor. Una alternativa para superar este problema y que podría añadir valor a este producto seria la utilización como ingrediente de otros productos (Medeiros et al., 2018). También al ser una fuente rica en proteínas séricas podría ser utilizado para la obtención de compuestos bioactivos naturales y seguros para ser aplicados en alimentos.
El lactosuero es una sustancia de alto valor nutritivo por la gran cantidad de macronutrientes y micronutrientes que presenta, pero muy contaminante con una Demanda Biológica de oxígeno (DBO) aproximada entre 35.000 y 50.000 mg $O_2.L^{-1}$.(Ayunta et al., 2005), es por ello que este subproducto no puede ser eliminado o vertido al medio ambiente de manera directa, sino que debe ser sometido a un tratamiento de efluente que disminuya la DBO a valores permitidos por la legislación, este procedimiento involucra un costo adicional para la industria, por ello el aprovechamiento del lactosuero se presenta como una alternativa muy prometedora tanto en el plano económico como ambiental.

1.5 *Hidrolizados proteicos con actividad antimicrobiana*

Los hidrolizados son extractos formados por un conjunto de péptidos, de diferente largo de cadena, si en su composición se encuentran péptidos antimicrobianos (AMPspor sus siglas en inglés: *AntiMicrobialPeptides*) este hidrolizado podría resultar en un compuesto con actividad antimicrobiana.
Los AMPs, son parte de la primera línea de defensa contra agentes infecciosos (Zasloff, 2002). Estos péptidos generalmente contienen menos de 200 aminoácidos y se encuentran presentes en casi todos los seres vivos (Hollmann et al., 2018; Kumar et al., 2018). Se encuentran codificados por el genoma y presentan un amplio espectro de actividad, neutralizando y/o matando microorganismos patógenos, como bacterias gramnegativas y grampositivas. En este contexto, los AMPs, representan una familia de moléculas con gran potencial para uso clínico, debido a su amplio espectro de actividad y bajo potencial para inducir el desarrollo de resistencia en las bacterias patógenas, ya que su blanco de acción es la membrana celular (Kumar et al., 2018). Existen diferentes criterios para clasificar a los AMPs, uno de los más utilizados se basa en su estructura secundaria, donde se los puede clasificar en 4 grandes grupos (Hollmann et al., 2018). *AMP extendidos*, ricos en prolina, triptófano, arginina e histidina, no tienen elementos de estructura secundaria regulares (Figura 1A).*AMP de horquilla β,* poseen horquilla *β* interconectada por un giro de tipo II y se estabilizan por los enlaces disulfuro (Figura 1B).*AMP de hoja β* que se estabilizan mediante puentes disulfuro y forman estructuras relativamente rígidas (Figura 1C). *AMP α-helicoidales,* generalmente no están estructurado en solución acuosa y forma hélices anfipáticas cuando interaccionan con membranas (Figura 1D).

Figura 1. Estructuras terciarias de AMP representativos. Indolicidina bovina (A), lactoferricina bovina (B), α-defensina 4 (C), y LL-37 (D). *Modificado de Hollmann et al., (2018).*

Como se mencionó previamente, el blanco de acción de la mayoría de los AMPs es la membrana plasmática. La disrupción o desestabilización física de las membranas se inicia por interacciones electrostáticas entre las cargas positivas de los AMPs y los componentes aniónicos de la membrana bacteriana (Brogden, 2005). En este punto, debe considerarse la diferencia en la composición de la envoltura bacteriana gramnegativa y grampositiva, que representan un punto clave en la selectividad de los AMPs(Maturana et al., 2017). Una vez que el péptido llega a la membrana es normalmente estabilizado por cambios conformacionales. Luego de esta interacción, dependiendo de las características físico-químicas y estructurales de cada AMP, se han propuesto diferentes modelos para explicar los posibles mecanismos de disrupción de la membrana. Los más aceptados son: *modelo de barril y poro toroidal*, donde se forman poros transmembrana permitiendo la liberación del contenido celular, y el modelo de *alfombra o carpeta* donde la desestabilización de la membrana ocurre por la formación de defectos transitorios o pequeñas micelas (Espeche et al., 2020).

1.6 Fuentes de péptidos: Péptidos naturales

La naturaleza proporciona una variedad de péptidos que se expresan en la mayoría de las especies vivas y que han sido optimizados por la presión evolutiva y la selección natural (Sable et al., 2017).
Durante la digestión o el procesamiento de los alimentos se liberan péptidos bioactivos que desempeñan un papel importante en las funciones fisiológicas.Entre las proteínas, las de la leche son una fuente importante de estos péptidos.Por ejemplo, se ha demostrado que los péptidos derivados de las proteínas de la leche ejercen diversas funcionalidades como actividades antioxidantes, actividades anticancerígenas, reducción de la presión arterial, actividades opiáceas unión de minerales, estimulación del crecimiento y actividades antimicrobianas (Almi-Sebbane et al., 2018)
El uso de los productos generalmente reconocidos como seguros (GRAS) tal es el caso las bacterias del ácido láctico (LAB) y/o sus metabolitos, muestra ser una alternativa prometedora para mantener los alimentos seguros y también es percibida por el consumidor como una conservación natural de los alimentos (Ramos et al., 2020).

1.7 Enzimas empleadas para hidrólisis

Pepsina

La pepsina es una enzima digestiva que se segrega en el estómago y que hidroliza las proteínas en el estómago. La pepsina es producida por la célula principal de las glándulas gástricas como una proenzima, el pepsinógeno, quien por efecto del pH ácido se hidroliza y adquiere su capacidad enzimática. Esta enzima actúa principalmente sobre enlaces peptídicos de naturaleza hidrófoba preferentemente aromáticos.
La pepsina tiene su pH optimo en el rango de 2 y 3 y se desactiva permanentemente a un pH mayor a 5. Su peso molecular es de 30.000 - 33.000 Da.Tiene especificidad sobre enlace con fenilalanina y tirosina, pero también hidroliza bien con ácido glutámico, cisteína y cistina.

Rennet

El rennet es una sustancia presente en el jugo gástrico de los mamíferos lactantes. Contiene una enzima que coagula la leche, llamada renina o quimosina, la cual es el principio activo de las preparaciones de cuajo utilizadas en la fabricación de queso y dulce de leche cuajada. Los preparados comerciales de extractos de cuajo se elaboran a partir de la capa más interna del cuarto estómago de los terneros, también llamado abomaso de 10 a 30 días de edad. La renina coagula la caseína de la leche, convirtiéndola en paracaseína, que precipita en presencia de concentraciones adecuadas de iones de calcio.
El rennet o cuajo está compuesto por una mezcla de quimosina (80%) y de pepsina (20%).
Si bien esta sustancia tiene origen animal, también puede obtenerse a partir de microorganismos como el hongo *Mucormiehei*, con acción comprobada para las aplicaciones previamente mencionadas.

En función de lo expuesto, el presente trabajo tiene como objetivo, obtener fracciones de hidrolizados proteicos que presenten actividad antimicrobiana a partir de un suero de leche de

cabra obtenido de una quesería local de Santiago del Estero.

2. MATERIALES Y MÉTODOS:

2.1 Procesamiento del suero lácteo

El suero fue provisto por una fábrica de quesos de cabra ubicada en la ciudad de Santiago del Estero. La recolección se realizó aplicando las buenas prácticas de manufactura y el transporte hacia el laboratorio para su procesamiento fue con refrigeración a 4ºC para evitar el deterioro del suero. Este fue posteriormente pasteurizado a 70ºC, en donde precipitó una fracción y otra permaneció soluble. La fracción soluble se fraccionó y fue posteriormente liofilizada durante 48h a 124 mmHg y almacenada a -20°C hasta su utilización.

2.2 Análisis de la concentración de proteínas por el método de Bradford

La concentración de proteínas presente en el suero de leche, en el hidrolizado y en sus fracciones fue determinada por el método de Bradford (1976). El mismo se fundamenta en la unión del colorante Coomassie Brilliant Blue G-250 a las proteínas, la cual produce un corrimiento del máximo de absorbancia de 465 nm (forma roja del colorante libre) a 595 nm (forma azul del complejo colorante-proteína), por lo que las lecturas se realizan a esta última longitud de onda. Las curvas de calibración se confeccionaron utilizando un estándar de albúmina bovina BSA (2 mg/ml) en el rango de 125 ug/ml a 1500 ug/ml.

2.3 Hidrólisis de proteínas del suero lácteo

El suero liofilizado se suspendió al 1%m/v y al 10%m/v en agua destilada y se ajustó al pH óptimo de cada enzima: pH 2 para la enzima pepsina y pH 3 para el complejo Rennet, luego fue autoclavado. Se midió la concentración de proteínas en la muestra nuevamente mediante el método de Bradford para poder establecer la cantidad de enzima a agregar.

Luego, se procedió a la hidrólisis con las enzimas. Las mismas (Pepsina y el complejo Rennet) fueron obtenidas comercialmente de Sigma. Para cada enzima, primero se evaluaron diferentes relaciones de enzima: sustrato, con el objeto de definir la mejor condición para la hidrólisis.
La hidrólisis se realizó agregando la enzima en la relación establecida por un tiempo de 4 h a 37º C.
Para finalizar la reacción se empleó un baño de agua caliente a 85ºC durante 15 minutos, luego baño de hielo durante 5 minutos, posteriormente se ajustó el pH de la solución a 7 y se centrifugó durante 10 minutos recogiendo el sobrenadante. Cada sobrenadante fue congelado y liofilizado.
Para los ensayos de actividad, los sobrenadantes liofilizados fueron resuspendidos utilizando agua MQ y determinando nuevamente la concentración de proteínas mediante el método de Bradford.

2.4 Grado de hidrólisis. Gel de SDS-PAGE

Se preparó el gel de resolución al 15% v/v, y el gel concentrador al 4% v/v. Se prepararon 25 µl de la muestra y se agregó 5 µl de buffer de siembra. Las muestras fueron calentadas a 85 ºC durante 10 min, luego de esto fueron centrifugadas por tiempo de 1 segundo para homogeneizar y sembrar en las calles. Se utilizó además un marcador de peso molecular comercial que se corrió junto a las muestras para estimar pesos moleculares de los componentes de la misma. Se realizó la corrida del gel a 20 V hasta que el frente de corrida llego al final del gel (aproximadamente 1,5 h).
Se tiñó el gel con solución (Coomassie blue) durante 30 min en agitación y posteriormente, fue desteñido con lavados sucesivos de solución decolorante (etanol, ácido acético y agua destilada).

2.5 Fraccionamiento de hidrolizados

Además de evaluar los hidrolizados originales, estos fueron luego sometidos a un fraccionamiento por ultrafiltración utilizando columnas Vivaspin (Sartorious) con membranas de corte de peso molecular de 3, 5 y 10 kDa. Se recogieron 4 fracciones de hidrolizados (Figura 2).
Las fracciones recolectadas fueron congeladas y liofilizadas. Para la posterior evaluación de la

actividad antimicrobiana los liofilizados fueron resuspendidos en agua MQ.

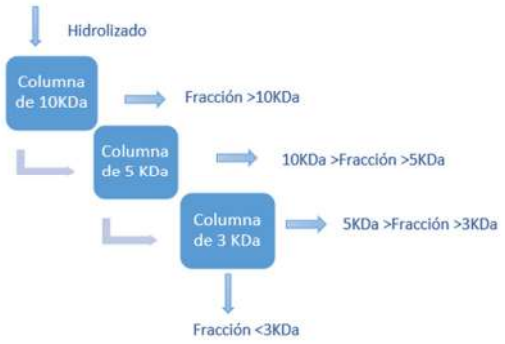


Figura 2: Esquema de ultrafiltración de hidrolizados lácteos

2.6 Determinación de la actividad antimicrobiana.

Para la determinación de la actividad antimicrobiana, se utilizaron como modelo una bacteria gram positiva, *Staphylococcusaureus* ATCC 25923 y una bacteria gram negativa *Escherichiacoli* ATCC 25929, adquiridas comercialmente. Para todos los ensayos las bacterias fueron crecidas en caldo Muller Hinton (Britania) a 37 °C

Método en placa de agar

Para realizar el recuento de unidades formadoras de colonias (UFC) en placa de agar se preparó una dilución de un cultivo *overnight* de las cepas a estudiar, hasta alcanzar una concentración de 1.10^6 UFC/ml. Se agregaron los diferentes hidrolizados a determinar y se incubó a 37 °C. Luego de la incubación para realizar el recuento deviables, se realizaron diluciones seriadas que fueron sembradas en placas de agar Müller Hinton. Luego de una incubación de 24 h se realizó el recuento de colonias.

Método en microplaca (medición de la DO)

Para la determinación de la actividad antimicrobiana en microplaca de 96 pocillos, se realizó un procedimiento semejante al previamente mencionado con placa de agar, con la diferencia que el preparado se realizó en un pocillo de la microplaca. La medición se realizó en lector de placas (Bioteck) a una longitud de onda de 600 nm.
A partir de las lecturas de absorbancia se calculó el porcentaje de inhibición utilizando la siguiente ecuación:

$$\%Inhibición = \left(1 - \frac{DO - DO_0}{DO_{ctr} - DO_{ctr\,0}}\right) * 100$$

Siendo DO la densidad óptica a determinado tiempo en presencia del agente, DO_{ctr} en ausencia de este y el subíndice 0 representa la medida a tiempo 0 (antes de comenzar la incubación).

3. RESULTADOS

3.1 Análisis del suero caprino utilizado y obtención de los hidrolizados proteicos.

La concentración de proteínas de la fracción soluble del suero dio un porcentaje de proteínas cercana al 12% m/m.

Posteriormente, se realizó el análisis mediante electroforesis SDS-PAGE. Las bandas obtenidas en el gel se podrían asignar a las proteínas mayoritarias descriptas previamente para este tipo de sueros mediante una comparación de las bandas observadas con un marcador de peso molecular comercial (El-Hatmi et al., 2015), observando con mayor intensidad la α-lactoalbúmina y la β-lactoglobulina. Además, se observó la presencia de caseínas que, si bien es la proteína mayoritaria en la leche, luego de su coagulación para obtener el suero, solo queda un porcentaje menor en éste. Finalmente, también se observó la presencia de albúmina sérica (SA) y en una concentración menor lactoferrina (Figura 3).

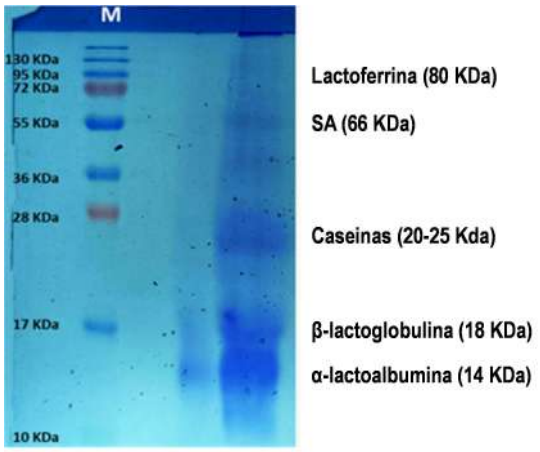


Figura 3. Gel de SDS-PAGE de la muestra de suero previo a la digestión enzimática

Mediante esta técnica, además se logró observar los diferentes grados de hidrólisis del suero digerido. Se procedió a establecer las condiciones de hidrólisis para ambas enzimas. Los resultados de grado de hidrólisis (datos no mostrados)evidenciaron que con la relación de enzima sustrato 1:20 se obtuvieron los mayores grados de hidrólisis, por lo que esta relación se utilizó para todos los experimentos subsiguientes.

3.2 Determinación de la actividad antimicrobiana.

3.2.1 *Actividad antimicrobiana de los hidrolizados obtenidos sin purificar*

Como primera medida se determinó la actividad antibacteriana del hidrolizado obtenido realizando el recuento de UFC luego de diferentes tiempos de incubación (1 a 4 h) para *E. coli* y *S. aureus*.

Como se observa en la Figura 4 ambas enzimas fueron capaces inhibir al menos parcialmente el crecimiento de *E. coli*, siendo significativamente mayor el efecto para el hidrolizado obtenido con pepsina.

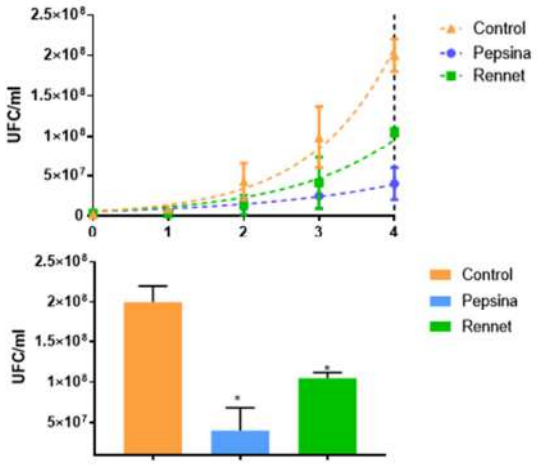


Figura 4. Representación del número de UFC de *Escherichiacoli* por ml vs horas de incubación para sueroresuspendido al 1%m/v digerido con cada enzima (arriba). Representación en gráfico de barras de los valores de UFC/ml alcanzados a las 4 h.

En el caso *S. aureus*solo se observó un efecto inhibitorio significativo con el hidrolizado obtenido con el complejo Rennet (Figura 5).

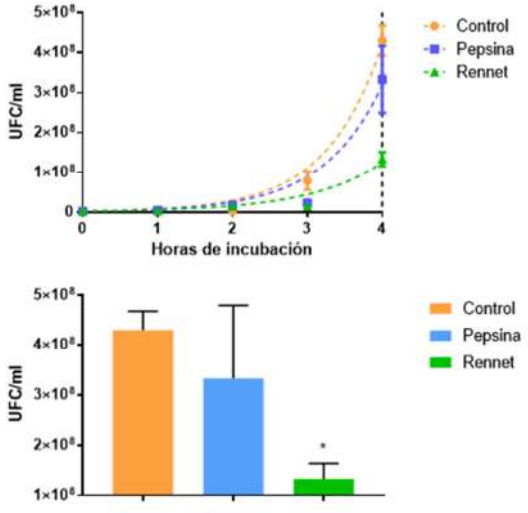


Figura 5. Representación del número de UFC de *Staphylococcusaureus* por ml vs horas de incubación para suero resuspendido al 1% m/vdigerido con cada una las enzimas (arriba). Representación en gráfico de barras de los valores de UFC/ml alcanzados a las 4 h.

3.2.2 *Actividad antimicrobiana de las diferentes fracciones de los hidrolizados obtenidos.*

Luego se procedió a evaluar la acción antimicrobiana de las distintas fracciones del hidrolizado proteico obtenido utilizando columnas de ultra filtración. Para esta sección los resultados se dividirán según la enzima utilizada para obtener el hidrolizado.

3.3.2.1. Rennet

Como primer paso, se obtuvieron las curvas de crecimiento para *E. coli* incubada con las diferentes fracciones obtenidas. Como se observa en la Figura 6. Solo las fracciones correspondientes a péptidos de menor tamaño (3-5 kDa y menor a 3KDa) fueron capaces de mostrar una inhibición significativa del crecimiento de *E.coli.* Estos resultados concuerdan con reportes previos en bibliografía, donde son péptidos cortos aquellos que presentan la mejor actividad antibacteriana(Wang et al., 2020).

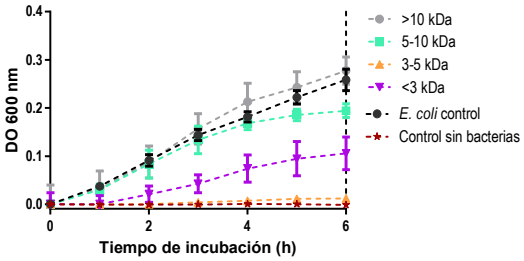


Figura 6. Curva de crecimiento de *E. coli* en presencia de 42.5 µg/ml de proteína de cada una de las diferentes fracciones de hidrolizados proteico obtenido con Rennet.

Debido a que los mejores resultados se obtuvieron con la fracción de un tamaño de entre 3 y 5 KDa, estafracción fue analizada nuevamente a diferentes concentraciones hasta las 24 h de incubación. Como se observa en la Figura 7. A medida que la concentración de la fracción disminuye, lo hace también el efecto antibacteriano, como es esperable. A la mayor concentración ensayada (42,5 µg/ml) no se observó crecimiento hasta las 24 h de incubación, indicando que esta es la concentración inhibitoriamínima (CIM) para esta fracción. A partir de los resultados de inhibición a las 24 h se obtuvo CI_{50} (concentración necesaria para inhibir el 50% del crecimiento bacteriano) que fue de 3.52± 0.5µg/ml.

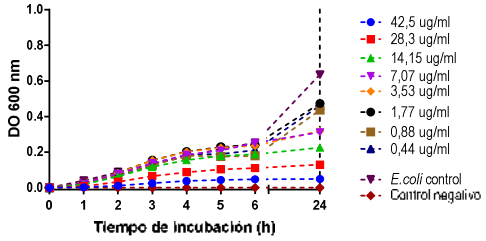


Figura 7. Curva de crecimiento de *E. coli* con diferentes concentraciones de la fracción 3 -5 kDa digerida con rennet.

Posteriormente, se realizaron los mismos ensayos con la bacteria *S. aureus.* Nuevamente el análisis de las diferentes fracciones reveló que la fracción de entre 3 y 5 KDa muestra los mejores resultados de inhibición (Figura 8).No obstante, en este caso los resultados de inhibición fueron menores que los observados para *E. coli.*

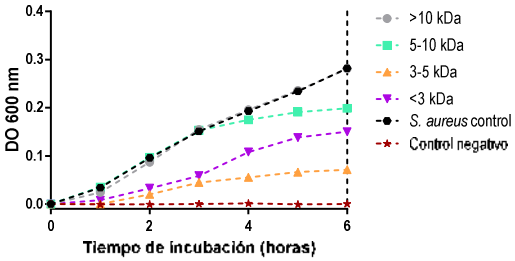


Figura 8. Curva de crecimiento de *S. aureus* en presencia de 42.5 µg/ml de proteína de cada una de las diferentes fracciones de hidrolizados proteico obtenido con Rennet.

Cuando se evaluó el efecto en *S. aureus*utilizando distintas concentraciones de la fracción que resultó más activa (nuevamente la fracción de un tamaño de entre 3 y 5 KDa), también se observó un efecto dosis dependiente (Figura 9). Sin embargo, para esta bacteria incluso en la mayor concentración ensayada no se logró una inhibición total del crecimiento, por lo que al menos para las concentraciones ensayadas no se pudo determinar el valor de la CIM. Sin

embargo,sí fue posible estimar el valor de IC_{50}que resultó de 10.1 ± 3 µg/ml.

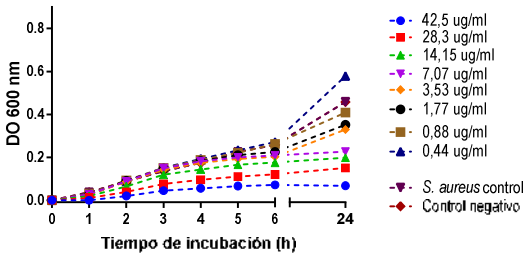


Figura 9. Curva de crecimiento de *S. aureus* con diferentes concentraciones de la fracción 3-5KDa digerida con rennet.

3.3.2.2. Pepsina

A continuación, se realizaron los ensayos con los hidrolizados obtenidos con la enzima pepsina. En este caso, solo se analizó la fracción mayor a 10 KDa, y la fracción de entre 3 y 5 KDa. Para esta enzima, en ambas bacterias ensayadas (*E. coli*y *S. aureus)*, nuevamente los hidrolizados de la fracción de menor tamaño mostraron mayor actividad. Cabe mencionar que en este caso para ambas bacterias a la concentración ensayada(114 µg/ml) se logró una inhibición casi completa del crecimiento luego de 24 h de incubación (Figura 10).

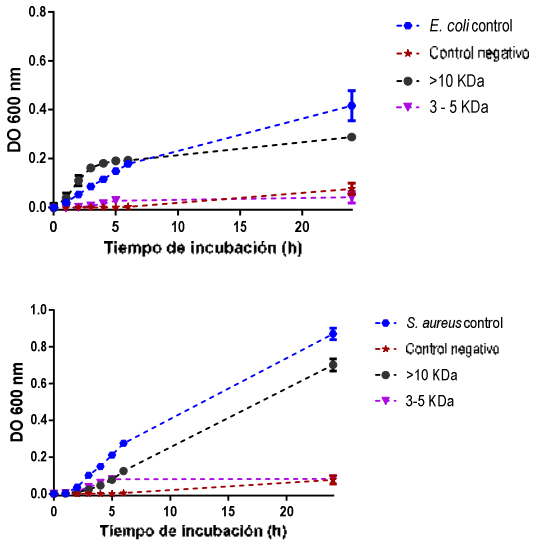


Figura 10. Curva de crecimiento de *E. coli* (arriba) y *S. aureus* (abajo) en presencia de 114 µg/ml de proteína de cada una de las diferentes fracciones de hidrolizados proteico obtenido con pepsina.

Finalmente, también se evaluó para el caso de *E. coli*la inhibición frente a diferentes concentraciones de la fracción que resultó más activa. En este caso, nuevamente a la mayor concentración ensayada (114 µg/ml) se observó una inhibición casi completa del crecimiento hasta al menos las 24 h. Si se compara con los resultados obtenidos para las digestiones con el complejo rennet, se observa que la concentración para lograr la máxima inhibición para los hidrolizados con pepsina resulta significativamente menor, lo mismo ocurre con el valor de IC_{50}que para *E. coli* fue de 14 ±4 µg/ml.

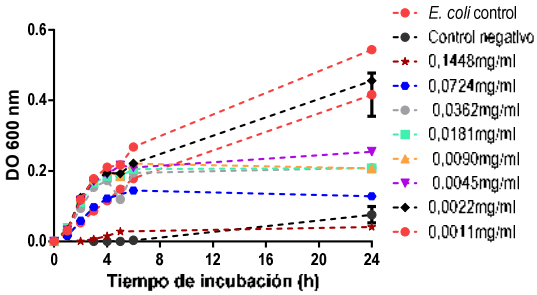


Figura 11. Curva de crecimiento de *E. coli* con diferentes concentraciones de la fracción 3 -5 KDa digerida con pepsina

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten confirmar que el suero de leche de cabra es una buena fuente para la obtención de hidrolizados proteicos con actividad antibacteriana, los que, al provenir de una fuente segura, podrían aplicarse en los alimentos.

De la comparación de las enzimas utilizadas, el complejo Rennet mostró mejores resultados que la pepsina, sin embargo, con ambas enzimas se lograron obtener hidrolizados con actividad antibacteriana.

La posibilidad de obtener hidrolizados con actividad antibacteriana a partir de suero de leche caprina, considerado un residuo,permitirá generar un subproducto de alto valor agregado en la

cadena productiva de la actividad láctea caprina de Santiago del Estero.

REFERENCIAS

Almi-Sebbane, D., Adt, I., Degraeve, P., Jardin, J., Bettler, E., Terreux, R., Oulahal, N., & Mati, A. (2018). Casesidin-like anti-bacterial peptides in peptic hydrolysate of camel milk β-casein. *International DairyJournal*, *86*, 49–56. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.06.016

Ayunta, C. A., Puppo, C., & Iturriaga, L. B. Composición de concentrados de proteínas de suero de leche de cabra. Aplicación de tecnología de membrana.Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería 2005.

Bedoya Mejía, O., Posada, S. L., & Rosero Noguera, R. (2012). Composición de la leche de cabra y factores nutricionales que afectan el contenido de sus componentes.*Desarrollo y Transversalidad serie Lasallista Investigación y Ciencia.* Corporación Universitaria Lasallista.

Bidot Fernández, A. Composición, cualidades y beneficios de la leche de cabra: revisión bibliográfica. (mayo de 2017) Revista de Producción Animal, 29(2), 32-41. Recuperado en 14 de agosto de 2023, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-79202017000200005&lng=es&tlng=pt.

Brogden, K. A. (2005). Antimicrobial peptides: Pore formers or metabolic inhibitors in bacteria?*Nature Reviews Microbiology*, *3*(3), 238–250.
https://doi.org/10.1038/nrmicro1098

El-Hatmi, H., Jrad, Z., Salhi, I., Aguibi, A., Nadri, A., &Khorchani, T. (2015). Comparison of composition and whey protein fractions of human, camel, donkey, goat and cow milk. *Mljekarstvo/Dairy*, 65(3). https://doi.org/10.15567/MLJEKARSTVO.2015.0302

Espeche, J. C., Martínez, M., Maturana, P., Cutró, A., Semorile, L., Maffia, P. C., & Hollmann, A. (2020*).* Unravelling the mechanism of action of "de novo" designed peptide P1 with model membranes and gram-positive and gram-negative bacteria.*Archives of Biochemistry and Biophysics*, *693*, 108549. https://doi.org/10.1016/j.abb.2020.108549

Frau, S., Pece, N., Font, G. & Paz, R. (2007). Calidad composicional de leche de cabra de raza Anglo Nubian en Santiago del Estero. *Tecnología Láctea Latinoamericana,* 48, 56-59.

Hollmann, A., Martinez, M., Maturana, P., Semorile, L. C., &Maffia, P. C. (2018). Antimicrobial peptides: Interaction with model and biological membranes and synergism with chemical antibiotics. *Frontiers in Chemistry*, 6, 1–13. https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00204

Kumar, P., Kizhakkedathu, J. N., & Straus, S. K. (2018). Antimicrobial peptides: Diversity, mechanism of action and strategies to improve the activity and biocompatibility in vivo.*Biomolecules,* 8(1), 4.
https://doi.org/10.3390/biom8010004

Maturana, P., Martinez, M., Noguera, M. E., Santos, N. C., Disalvo, E. A., Semorile, L., Maffia, P. C., & Hollmann, A. (2017). Lipid selectivity in novel antimicrobial peptides: Implication on antimicrobial and hemolytic activity.*Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 153, 152–159. https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2017.02.003

Medeiros, G. K., Queiroga, R. C., Costa, W. K., Gadelha, C. A., Lacerda, R. R., Lacerda, J. T.&Gadelha, T. S. (2018). Proteomic of goat milk whey and its bacteriostatic and antitumour potential. *International journal of biological macromolecules,* 113, 116-123. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.01.200

Osman, A., Goda, H. A., Abdel-Hamid, M., Badran, S. M., & Otte, J. (2016). Antibacterial peptides generated by Alcalase hydrolysis of goat whey. *LWT-Food science and technology,* 65, 480-486.
https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.08.043

Parra Huertas, R. A. (2009*).* Lactosuero: importancia en la industria de alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 62(1), 4967-4982.

Paz, R., Rodriguez, R., González, V., &Lipshitz, H. (2011*).* Producción económica en una pequeña explotación lechera caprina: hacia un diseño alternativo de desarrollo rural.*Revista Asociación Latinoamericana de Producción Animal*, 18, 97–111.

Puente, F. V., Arroyo, V., & Frías, M. (2010).Precipitación de proteínas lactoséricas en función de la acidez, temperatura y tiempo, de suero producido en Comonfort, Guanajuato, México.*Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(2), 157–16.

Ramos, B., Brandão, T. R. S., Teixeira, P., & Silva, C. L. M. (2020). Biopreservation approaches to reduce Listeria monocytogenes in fresh vegetables. *Food Microbiology*, *85*, 103282. https://doi.org/10.1016/j.fm.2019.103282

Sable, R., Parajuli, P., &Jois, S. (2017). Peptides, peptidomimetics, and polypeptides from marine sources: A wealth of natural sources for pharmaceutical applications.*Marine Drugs*, *15*(4). https://doi.org/10.3390/md15040124

Wang, R., Han, Z., Ji, R., Xiao, Y., Si, R., Guo, F., He, J., Hai, L., Ming, L., & Yi, L. (2020). Antibacterial activity of trypsin-hydrolyzed camel and cow whey and their fractions. *Animals*, *10*(2) https://doi.org/10.3390/ani10020337

Zasloff, M. (2002). Antimicrobial peptides of multicellular organisms. *Nature*, *415*(6870), 389–395. https://doi.org/10.1038/415389a

Evaluación de la calidad microbiológica de ovoproductos deshidratados almacenados por un largo período de tiempo.

Zutara, María S.[1]; Laguna, Vanesa B.[1];Maita Pablo S.[1], Morales, L. Julieta[1]y Giunta Sandra A.[1]

(1) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.
mzutara@yahoo.com

RESUMEN

Este estudio evaluó la calidad microbiológica y el contenido de humedad de dos ovoproductos (yemas y claras de huevos liofilizadas), empacados al vacío y almacenados bajo condiciones de refrigeración durante doce años.El contenido de humedad se determinó mediante el método gravimétrico, por triplicado. La calidad microbiológica de las muestras se evaluó mediante la determinación de la carga microbiana total, por recuento en placa de bacterias aerobias mesófilas heterótrofas (BAMH), la determinación del número más probable (NMP) de coliformes totales, confirmación de coliformes en caldo con verde brillante y bilis al 2% (BGBL),y confirmación de coliformes fecales en caldo *Escherichia coli* (EC). Las pruebas microbiológicas se realizaron por duplicado. El contenido de humedad obtenido para las yemas fue de 1,85%±0,004% y para las claras fue de5,43%±0,007%. La carga microbiana total para ambos ovoproductos deshidratados fue indetectable. No se registraron recuentos de coliformes en ninguna muestra aquí analizada. La siembra en BGBL no confirmó presencia de coliformes en ninguna muestra, y tampoco se confirmó presencia de coliformes fecales.Los resultados presentados demuestran la inocuidad y la eficacia del método de empacado y almacenamiento utilizado en la conservación de los ovoproductosaquí analizados y obtenidoshace doce años.

ABSTRACT

This study evaluated the microbiological quality and moisture content of two egg products (lyophilized egg yolks and whites), vacuum packed and stored under refrigerated conditions for twelve years. Moisture content was determined by the gravimetric method, in triplicate. The microbiological quality of the samples was evaluated by determining the total microbial load, by plate count of aerobic mesophilic heterotrophic bacteria (AMHB), determination of MPN (most probable number) of total coliforms, confirmation of coliforms in broth with green brilliant and 2% bile (BGBL), and confirmation of fecal coliforms in Escherichia coli broth (EC). Microbiological tests were performed in duplicate. The moisture content obtained for the yolks was 1.85% ± 0.004% and for the whites it was 5.43% ± 0.007%. The total microbial load for both dehydrated egg products was undetectable. No coliform counts were recorded in any sample analyzed here. Planting in BGBL did not confirm the presence of coliforms in any sample, and the presence of fecal coliforms was not confirmed either. The results presented here demonstrate the safety and efficacy of the packaging and storage method used in the preservation of the egg products analyzed here and obtained twelve years ago.

Palabras claves: clara de huevo-yema de huevo-liofilizado-empaque

Keywords: egg white-egg yolk-lyophilized-packaging

1. INTRODUCION

Para la eficaz conservación de alimentos, es necesario eliminar la humedad de los mismos. Civilizaciones antiguas descubrieron esto y desarrollaron los primeros sistemas para secar alimentos que todavía usamos hoy. Se dice que la deshidratación se practica desde el año 12.000 a.C. Las poblaciones romanas y del Medio Oriente secaban frutas y verduras en "casas quietas", usando fuego para secar y ahumar los alimentos.En comparación a los métodos

anteriormente mencionados, la liofilización es un proceso relativamente moderno, aunque se dice que comenzó con el Imperio Inca. Mucho más recientemente, el desarrollo comercial del proceso se produjo durante la Segunda Guerra Mundial, ya que se empleó para conservar plasma sanguíneo y en la preparación de los primeros antibióticos de penicilina. Años después, alrededor de 1.960, comenzó a utilizarse en una gran variedad de productos, entre ellos los alimentos.La liofilización es un método para eliminar el agua por sublimación de cristales de hielo del material congelado. Los parámetros adecuados de aplicación del proceso nos permiten obtener productos de mejor calidad en comparación con los productos secados con métodos tradicionales. Las muy buenas propiedades físicas y químicas de los alimentos y productos biotecnológicos obtenidos por liofilización hacen de este método el mejor para la deshidratación de productos alimenticios, Villota (1980), razón por la cual se seleccionó este método para la conservación de los ovoproductos obtenidos en Zutara (2012) y aquí analizados. Es evidente que en el mercado nacional e internacional existe una gran selección de diferentes tipos de productos liofilizados, y sigue aumentando el interés de los consumidores por estos productos. El alto costo de la liofilización todavía limita la aplicación a gran escala en la industria alimentaria. La innovación de equipos y el pretratamiento de la materia prima pueden reducir el tiempo y la energía necesarios para este proceso.

Eliminar la humedad sin destruir la composición básica de los alimentos aumenta tanto la vida útil como el valor nutricional de los alimentos,Villota (1980).Por lo general la deshidratación en deshidratadores caseros elimina alrededor del 70 por ciento del agua de los alimentos. En esta situación, el alimento se conserva por unos pocos meses. Sin embargo, las secadoras comerciales pueden eliminar entre un 90 a 95 por ciento del contenido de humedad. De acuerdo a al sitio web https://harvestright.com (2016) el secado por congelación en el hogar con una unidad HarvestRight (de un costo de U$D 2.500) elimina del 98 al 99 por ciento del agua en los alimentos. Debido a la cantidad de humedad que queda en los alimentos deshidratados en casa, en forma convencional, como las frutas secas, la carne y las verduras, tienen una vida útil de uno o dos años como máximo. La industria que promociona liofilizadores para el hogar afirma en su marketing que los alimentos deshidratados, incluyendo los huevos, en un liofilizador tienen una vida útil de 15 a 25 años. (https://harvestright.com/how-it-works/#) https://harvestright.com/about-us/.Los alimentos refrigerados, congelados y enlatados no duran mucho comparados con los mismos deshidratados. De acuerdo la industria de liofilizadores los alimentos liofilizados durarán hasta 25 años y no es necesario rotarlos como otros alimentos. Los alimentos liofilizados son perfectos para el almacenamiento en el hogar.

El valor nutricional de los alimentos deshidratados por métodos convencionales es de alrededor del 60 por ciento del equivalente de los alimentos frescos Ratti (2002). Esta pérdida se debe en gran parte al calor utilizado durante la deshidratación, que descompone las vitaminas y minerales de los alimentos. Sin embargo, publicaciones deAgnieszka (2011) y Ratti (2001) muestran que los alimentos liofilizados conservan la gran mayoría de las vitaminas y minerales que se encuentran en su estado original. De hecho, los alimentos liofilizados normalmente conservan el 97 por ciento de sus nutrientes debido al proceso de vacío en frío que se utiliza para extraer el agua. También es necesario señalar que el huevo en polvo también se usa para el preparado de medios de cultivo selectivos Merck https://www.sigmaaldrich.com/AR/es/search/egg-powder?focus=documents&page=1&perpage=30&sort=relevance&term=egg%20powder&type=site_content.

Nuestro grupo de trabajo, en propuestas anteriores Zutara (2012), Castillo (2014) ha incursionado en la determinación de la calidad microbiológica de diferentes productos alimenticios modificados o mejorados tecnológicamente tales como huevos enriquecidos en ácidos grasos omega 3 y huevos liofilizados. Se ha comprobado que la calidad microbiológica del ovoproducto modificado tecnológicamente es superior a la de los huevos frescos que se comercializan para consumo directo.

El presente trabajo está enfocado en la evaluación de la inocuidad de ovo productos deshidratados, por liofilización, yemas y claras de huevo de gallinas, obtenidos en el marco de Zutara (2012) y envasados al vacío y mantenidos a temperatura de refrigeración por 12 años.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2. 1 Materiales

Se analizaron dos (2) ovoproductos obtenidos por nuestro grupo de investigación durante el año 2011 para Zutara (2012), en el Centro de Investigaciones en Tecnologías Alimentarias (CITA) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jujuy:
1-yemas de huevos deshidratadas por liofilización (YHDxL), Fig. 1a.

2- claras de huevosdeshidratadas por liofilización (CHDxL),Fig. 1b.

b a

Figura 1: a-yemas de huevos deshidratadas por liofilización (YHDxL); b- claras de huevos deshidratadas por liofilización (CHDxL).

Inmediatamente luego de deshidratados ambos ovoproductosfueron empacados al vacío en una envasadora al vacío sombre-mesa VAC-STAR S210;Fig.2 a.,en bolsas plásticas comercializadas por EHRLICH S.R.Lpara envasado al vacío; Fig. 2b,y almacenados bajo condiciones de refrigeración a 3°C en una heladera Gafa para uso doméstico durante doce años.

a b

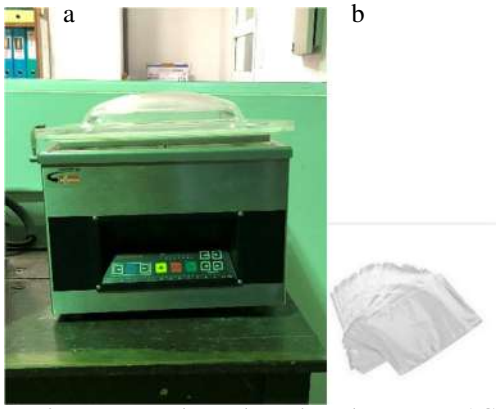


Figura 2. a- envasadora al vacío sobremesa VAC-STAR S210; b- bolsas plásticas comercializadas por EHRLICH S.R.L

2.2 Métodos

Para evaluar la calidad microbiológica de las muestras en estudio se realizó el recuento en placa de bacterias aeróbias mesófilas heterótrofas (BAMH) y la determinación de coliformes totales mediante la técnica del número más probable(NMP). Las pruebas microbiológicas se realizaron por duplicado. La carga microbiana total se determinó mediante recuento en placa de bacterias aeróbias mesófilas heterótrofas (BAMH) en agar nutritivo standard y siembra por vertido o en masa con un período de incubación de 48 horas a 30°C.
La enumeración de coliformes totales se efectuó mediante la técnica del NMP, método británico. Esta técnica emplea un sistema de múltiple dilución hasta extinción y es útil para determinar poblaciones de microorganismos (m.o.) en alimentos que se espera tengan baja densidad microbiana. Esta técnica, basada en la fermentación de la lactosa con producción de gas, se realiza en caldo Mac Conkey (caldo lactosado), con campana de fermentación tipo Durham, presencia de un indicador de pH para facilitar la lectura y tres tubos por dilución. Se incuba en estufa de cultivo por 24 horas entre 35 y 37°C. La ausencia de gas se interpreta como el resultado del examen de una muestra exenta de coliformes. Se confirmó la presencia o ausencia de coliformes por medio de la siembra en caldo con verde brillante y bilis al 2% (BGBLB). También se evaluó la presencia de coliformes fecales por medio de la siembra en caldo EC (caldo *Escherichia coli*).
La humedad de las muestras se determinó por triplicado usando el método de la estufa de aire. Las muestras se desecaron en estufa de aire a 100-105°C hasta peso constante (~ 24 h). La misma se calculó usando la ecuación (1).

$$\text{Humedad } \% = (P_1/P_2) * 100 \qquad (1)$$

Donde

P_1: peso de la muestra

P_2: pérdida de peso

3. RESULTADOS

La tabla 1 presentan los valores obtenidos en el análisis microbiológico de las muestras analizadas en el presente trabajo.

Tabla 1. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO - 2023

Muestra	BAMH (UFC/g)	CT (NMP/g)	CF

YHDxL	ND	ND	-
CHDxL	ND	ND	-

BAMH: bacterias aeróbias mesófilas heterótrofas
CT: coliformes totals, ND:<30 NMP/g
CF: coliformes fecales; Presencia (+), Ausencia (-)
YHDxL: yemas de huevo deshidratadas x liofilización.
CHDxL: claras de huevo deshidratadas x liofilización.

A continuación, la tabla 2 presenta los resultados de la determinación de humedad de este trabajo.

Tabla2. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

Muestra	Humedad %
YHDxL	1,8±0,004
CHDxL	5,43±0,07

YHDxL: yemas de huevo deshidratadas x liofilización.
CHDxL: claras de huevo deshidratadas x liofilización.

4. DISCUSIÓN

A continuación, la tabla 3 presenta los valores obtenidos por Zutara (2022)con el propósito de comparar dichos valores con los aquí obtenidos

Tabla 3. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO - 2022

Muestra	BAMH (UFC/g)	CT (NMP/g)	CF
HDxSS	$1*10^1$	ND	-
CHDxSS	$7,5*10^2$	ND	-

HDxSS: huevos enteros secados en secadero en spray (producto comercial).
CHDxSS: clara de huevo secados en secadero en spray (producto comercial).

La tabla 4 presenta la recopilación de datos de humedad de este trabajo y de Zutara (2022).

Tabla 4. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

Muestra	Humedad %
YHDxL	1,8±0,004
CHDxL	5,43±0,07
HDxSS*	4,5±0,05
CHDxSS*	7,1±0,03

YHDxL: yemas de huevo deshidratadas x liofilización.
CHDxL: claras de huevo deshidratadas x liofilización.
HDxSS*: huevos enteros secados en secadero en spray (producto comercial).
CHDxSS*: clara de huevo secados en secadero en spray (producto comercial).
*Valores obtenidos en Zutara (2022)

Jovanovi´c (2021) ha reportado la inestabilidad en el producto liofilizado con el tiempo de almacenamiento y en ambientes de alta humedad y con diferente material de envasado por lo que estos son factores a controlar cuando se almacenen y empaquen los productos así desecados. Sin embargo, este no fue el caso en el presente estudio ya que los valores de humedad se mantuvieron en los valores bajos similares a los obtenidos 12 años atrás.La calidad microbiológica del ovoproducto obtenido en Zutara (2012) fue también analizada en Castillo (2014), en tal oportunidad se obtuvo un recuento de BAMHdel orden de 10^0UFC/gcon valores de humedad similares a los aquí obtenidos. Esto confirma que los ovoproductos aquí obtenidos hace doce años todavía son inocuos y seguros para consumo humano. Estos resultados también confirman la posibilidad de que la vida de anaquel de los ovoproductos se extienda a 15-25 años tal como lo promociona la industria productora de liofilizadores para el hogar.
Henríquez (2013)y Sangamithra(2014) establecen que un valor de humedad máxima de 5% (p/p) y actividad de agua hasta 0.3 son generalmente requisitos de calidad para alimentos deshidratados destinados a la comercialización, ya que bajo estas condiciones se evita el crecimiento microbiano y reacciones indeseables.
Comparando los valores microbiológicos del producto comercial analizado en Zutara (2022) y el obtenido para este estudio hace doce años, estos son comparables. Sin embargo, para poder comparar la vida de anaquel de estos dos productos comerciales de Zutara (2022) con los obtenidos en Zutara (2012) todavía no contamos con suficientes datos por lo que proponemos para futuros análisis prever de contar con estos mismos productos comerciales pasados sus fechas de vencimiento ya que el tiempo de anaquel de los mismos es de un año.
Con respecto a los valores de humedad aquí obtenidos, el bajo valor de recuento de bacterias aeróbias mesófilas heterótrofas y coliformes en todas las muestras aquí analizadas confirman la inocuidad de los ovoproductos a pesar que el contenido de humedad de algunas de las muestras está por arriba del 5%. De acuerdo a los valores de humedad aquí obtenidos y las recomendaciones de los autores antes mencionados, los valores esperados de los análisis microbiológicos para las muestras con humedad mayor al 5% tendrían que ser mayores a los aquí obtenidosy mayores a los valores límites establecidos por el CAA, sin embargo, este no es el caso. Estos resultados concuerdan con lo afirmado en Zutara (2022), no siempre nos podemos basar solo en valores de humedad para

predecir la calidad microbiológica de un producto alimenticio.

5. CONCLUSIÓN

Los resultados aquí obtenidos muestran que los ovoproductos obtenidos en Zutara (2012) y envasados al vacío mantienensu inocuidad después de 12 años de almacenamiento en condiciones de refrigeración comunes. El valor de humedad también se mantuvo bajo a pesar del largo período de almacenamiento.

Si bien el valor de humedad se mantiene a lo largo de la vida útil de los ovoproductos, tanto de los aquí obtenidos como de los productos comerciales, esta variable sola no es suficiente referencia para predecir la calidad microbiológica de los ovoproductos en estudio.

6. REFERENCIAS

Agnieszka Ciurzyńska, Andrzej Lenart. (2011).*Freeze-Drying – Application in Food Processing and Biotechnology* – A Review. Pol. J. Food Nutr. Sci., 2011, Vol. 61, No. 3, pp. 165-171. http://journal.pan.olsztyn.pl. Asia 6/9/2011, 04:56:45. DOI: 10.2478/v10222-011-0017-5

Castillo G.; S. Giunta; M. S. Zutara; S. Catorceno. (2014). Calidad microbiológica de un ovoproducto mejorado tecnológicamente.*En II Congreso Argentino de Ingeniería,* Argentina: CADI 2014. ISBN 9789871662517.Cap. 9 Forestal, Agronomía y Alimentos, Pag. 1595-1601.

Giunta, S; Zutara, M.; Cruz, M.; Sullca, E.; Villalovos, M. Determinacion de la composicionquimica y calidad microbiologica de la harina de lombriz Eiseniafoetida. Investigaciones de Facultades de Ingeniería del NOA.Salta: Facultad de Ingeniería UNSa. 2015 vol.2015 n°. p47 - 51. issn 1853-7871.

Giunta, S.; Sullca, E.; Cruz, M.; Zutara, M. S. Evaluation of Growth and Reproduccion of Eisenia andrei in five organic substrates. BIOCELL. Mendoza: INST HISTOL EMBRIOL-CONICET. 2014 vol.38 n°. p33-33. issn 0327-9545.

Giunta, S.; Zutara, M. S.; Luna Pizarro, P.; Maidana, S. Effect Of Fish Oil Enriched Diet On Omega-3 Fatty Acid Content In Laying Hens Livers. Biocell.Mendoza: INST HISTOL EMBRIOL-CONICET. 2013 vol.37 n°2. p35 - 79. issn 0327-9545.

Giunta, S.; Zutara, M. S.; Luna Pizarro, P.; Maidana, S. PRELIMINARY STUDY OF FATTY ACIDS LEVELS OF Eisenia andrei USING GAS CHROMATOGRAPHY. BIOCELL.Mendoza: INST HISTOL EMBRIOL-CONICET. 2013 vol.37 n°2. p55 - 55. issn 0327-9545.

Giunta S., S. Zutara, S. Maidana, S., P. Luna Pizarro 2012. Fatty acid profile and total fat content in chicken livers from birds fed with an enriched diet. En 16th IUFoST World Congress of Food Science and Technology, 5 al 9 de agosto del 2012. ISSN 2304-7992 WorldCongressofFoodScience and Technology.

Giunta, S.; Sullca, E.; Cruz, L.; Zutara, S. Efecto del método de secado en la composición de la harina de Eiseniaandrei. Argentina. Córdoba. 2014. Libro. Resumen. Congreso. V Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos Córdoba, 2014. Ministerio de Industria,Comercio, Minería y Desarrollo Científico Tecnológico.

Giunta, S.; Zutara, M.S.; Sanchez Catorceno, S.; Taboada, V.; Cruz, M.. Determinación de la calidad microbiológica de harina de lombriz, chia y soja. Argentina. Córdoba. 2014. Libro. Resumen. Congreso. V Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos Córdoba, 2014. Ministerio de Industria,Comercio, Minería y Desarrollo Científico Tecnológico.

Henríquez, C., Córdova, A., Lutz, M. & Saavedra, J. (2013). Storage stability test of apple peel powder using two packaging materials: High-density polyethylene and metalized films of high barrier. Industrial Crops and Products, 45, 121-127. http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.11.032

https://homesteadingfamily.com/freeze-dried-eggs/

https://harvestright.com/blog/2016/freeze-dried-food-versus-dehydrated-food-whats-the-difference/

Jovanovi´c, A.A.; Levi´c, S.M.; Pavlovi´c, V.B.; Markovi´c, S.B.; Pjanovic´, R.V.; Đord¯evic´, V.B.; Nedovi´c, V.; Bugarski, B.M. Freeze vs. Spray Drying for DryWild Thyme (Thymus serpyllum L.) Extract Formulations: The Impact of Gelatin as a Coating Material. Molecules 2021, 26, 3933. 16 pages. https://doi.org/10.3390/ molecules26133933

Kotchikpa Justin Ekpo, Germain EloloOsseyi, Joseph Dossou, and VirgileAhyi (2022). *Comparative Study of the Physicochemical and*

Microbiological Quality of Liquid, Freeze-Dried, Hot Air-Dried, and Pasteurized Quail Eggs Produced in Benin. Hindawi,International Journal of Food Science. Volume 2022, Article ID 1991659, 8 pages https://doi.org/10.1155/2022/1991659

Ratti C., Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review.J. Food Eng., 2001, 49, 311–319.

Villota, R., Saguy, I. and Karel, M. (1980), Storage Stability of Dehydrated Food Evaluation Of Literature Data. *Journal of Food Quality*, 3: 123-212.https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.1980.tb00699.x

Zutara M. S., E. M. Arnau, Luna Pizarro P., Maidana Iriarte S, Castillo G., R. Z. Retamozo, Marta Corro. 2010. Determinación del período de adaptación adecuado de las aves para el estudio de la influencia de la nutrición sobre el tamaño y la calidad interna del huevo. En Investigaciones en Ingeniería del NOA 2010.ISSN3367-5072. Págs. 560-5

Zutara M. S., Castillo G., Arnau E, Escalante J. 2012. *Efecto de la suplementación de la dieta de gallinas ponedoras con ácidos grasos omega 3 en el tamaño de los huevos, la producción y vida productiva de las aves*. VIII Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA 27 y 28 de septiembre. ISSN 1853-7871.

Zutara M. S.; S. Giunta; S. Catorceno; Taboada V.Efecto del tipo de secado en la calidad microbiológica de harina de lombriz. Argentina. San Rafael, Mendoza. 2015. Libro. Resumen congreso. Congreso Latinoamericano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Universidad Nacional de Cuyo.

Zutara, M. S.; Laguna, V. B.; Maita Pablo S. y Giunta S. A.Evaluación de la calidad microbiológica de productos alimenticios deshidratados obtenidos mediante diferentes procesos de secado.Salta 2022.*Libro de Resúmenes de Las xv Jornadas de Ciencia y Tecnología de Las Facultades de Ingeniería del Noa.*Pgs. *216-2018.*

GESTIÓN DE LA EDUCACIÓN EN INGENIERÍA

Lineamientos para una enseñanza contextualizada

Argañaraz, Jorgelina F.[1];Tarifa, Enrique E.[1, 2]

(1) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.
jfarganaraz@fi.unju.edu.ar; eetarifa@fi.unju.edu.ar

(2) CONICET

RESUMEN

La emergencia sanitaria causada por el COVID-19 llevó a que las universidades reemplazaran las clases presenciales por clases virtuales, lo que implicó una serie de desafíos. Sin embargo, los resultados obtenidos no fueron satisfactorios debido a problemas tecnológicos, la falta de preparación, de falta de competencias en educación a distancia de docentes y estudiantes, y la falta de conectividad y equipamiento de algunos de ellos. Ante este panorama, los especialistas de educación a distancia propusieron el término "Enseñanza Remota de Emergencia" para designar las estrategias adoptadas en la implementación de las clases virtuales durante la emergencia. Sin embargo, este término no ofrece ayuda a los docentes al momento de enfrentar una emergencia. En este contexto, el presente trabajo propone lineamientos para transformar la Enseñanza Remota de Emergencia en una modalidad de Enseñanza Contextualizada, a la cual los docentes puedan recurrir cuando sea necesario, ya sea en un contexto de emergencia o en la transición hacia una nueva normalidad. Estos lineamientos surgieron de la experiencia, estudio de casos, retroalimentación de estudiantes, referencias teóricas y encuentros con docentes de la Facultad de Ingeniería de la UNJu.

ABSTRACT

The health emergency caused by COVID-19 led universities to replace face-to-face classes with virtual classes, which implied a series of challenges. However, the results obtained were not satisfactory due to technological problems, lack of preparation, lack of distance education skills of teachers and students, and lack of connectivity and equipment of some of them. Faced with this scenario, distance education specialists proposed the term "Emergency Remote Teaching" to designate the strategies adopted in the implementation of virtual classes during the emergency. However, this term does not offer help to teachers when facing an emergency. In this context, this paper proposes guidelines to transform Remote Emergency Teaching into a Contextualized Teaching modality, to which teachers can resort when necessary, either in an emergency context or in the transition to a new normality. These guidelines emerged from experience, case studies, student feedback, theoretical references and meetings with teachers from the Faculty of Engineering of the UNJu.

Palabras claves: enseñanza remota de emergencia –universidad –lineamientos–capacitación

Keywords: emergency remote teaching – university – guidelines – training

1 INTRODUCCIÓN

Pandemias hubo muchas en la historia, como las causadas por la peste negra, la viruela, la gripe española, el cólera y el VIH. Sin embargo, en ninguna de esas pandemias, la humanidad estuvo en un estado de cuarentena global como el que se vivió en el 2020 por el COVID-19. A nivel educativo, la situación de la pandemia exigió una respuesta rápida con el fin de satisfacer una enorme demanda por servicios educativos en el mundo. Específicamente en la Educación Superior universitaria, con el fin de asegurar la continuidad pedagógica y los procesos formativos, las instituciones educativas llevaron adelante una serie de esfuerzos institucionales, académicos, tecnológicos, etc., que no estaban en sus agendas y para los cuales, en muchos casos, no había preparación previa (IESALC, 2020).

Dado este contexto, las universidades se vieron forzadas a sustituir, en forma precipitada, las

clases presenciales por clases virtuales. Había llegado la hora de implementar la Educación a Distancia (EaD), una modalidad largamente analizada por las universidades; pero que no había logrado instalarse en forma significativa en la práctica. Al poco tiempo de iniciada las clases virtuales, fue evidente que los resultados no eran buenos, lo que reforzó los prejuicios que pesaban sobre la calidad de la virtualidad. Pedró (2020) plantea tres razones que explicarían "el saldo negativo" que dejó el intento de implementación del modelo de EaD en contexto de emergencia en términos de la calidad de los aprendizajes. La primera razón es de índole tecnológica, puesto que la solución adoptada asumía que tanto estudiantes como docentes disponían de la conectividad y del equipamiento requeridos. Sin embargo, una parte significativa de docentes y estudiantes no disponían de esos elementos. La segunda razón, es que, aunque la EaD en el Nivel Superior parecía haber despegado en los últimos años en la región, la misma solo se había concretado en pocas universidades y, en particular, en los posgrados. La tercera razón por la que se abonaría este saldo negativo está relacionada con las competencias de docentes y estudiantes en materia de EaD.

Ante ese escenario, con el fin de salvaguardar el prestigio de la modalidad, los especialistas de la EaD acuñaron el término "Enseñanza Remota de Emergencia" (ERE) para designar con él al conjunto de estrategias que se estaban adoptando en la implementación de las clases virtuales durante la emergencia. Es decir, por su origen, el nuevo término no representa una modalidad bien definida como sí lo es la EaD. Por ese motivo, tampoco ofrece ayuda a los docentes al momento de enfrentar una emergencia.

En este marco, el presente trabajo plantea lineamientos para transformar la ERE en una modalidad de Enseñanza Contextualizada, a la cual los docentes puedan recurrir cuando sea necesario. Esos lineamientos surgieron de la propia experiencia, de estudio de casos, de retroalimentaciones brindadas por estudiantes, de referencias teóricas y de encuentros con docentes de la Facultad de Ingeniería de la UNJu (Universidad Nacional de Jujuy).

2 LA PANDEMIA Y LA EDUCACIÓN

La situación de la pandemia exigía una respuesta rápida con el fin de satisfacer una enorme demanda por servicios educativos en el mundo. Con el fin de asegurar la continuidad pedagógica y los procesos formativos, las instituciones universitarias llevaron adelante una serie de esfuerzos institucionales, académicos, tecnológicos, etc., que no estaban en sus agendas y para los cuales, en muchos casos, no había preparación previa (IESALC, 2020). En este escenario, se intentó implementar de manera apresurada la EaD. Esto significó comenzar con la virtualización de las aulas en un sistema que no se encontraba estructuralmente preparado para semejante hazaña.Por ese motivo, no se logró implementar la EaD en la mayoría de las instituciones, las cuales solo llegaron a implementar un conjunto de soluciones particulares y heterogéneas a lo que se denominó ERE (Hodges et al., 2020; Sánchez Aguiar, 2020).

Desde una mirada local, Cardini et al. (2020), en el informe titulado "La educación en tiempos de pandemia: Entre el aislamiento y el distanciamiento social", sistematizaron una serie de estrategias políticas que las distintas provincias argentinas llevaron a cabo como respuestas educativas en el marco del ASPO. Plantean estos autores que luego de tres meses de educación en aislamiento social, el Gobierno nacional y las provincias desplegaron una gran variedad de iniciativas para sostener la continuidad pedagógica desde los hogares. Luego del análisis realizado en cada jurisdicción, plantean que estas iniciativas tuvieron los siguientes objetivos: garantizar el acceso a contenidos pedagógicos a través de las tecnologías digitales, los materiales impresos, la televisión y la radio; ampliar la infraestructura digital a partir de la entrega o reparación de computadoras en desuso y el establecimiento de acuerdos con empresas de telecomunicaciones para permitir la navegación gratuita en las plataformas digitales educativas; acompañar y fortalecer las capacidades de las y los docentes en el uso de las TIC para la enseñanza remota a través de documentos orientadores, asistencia a distancia, capacitaciones virtuales, entre otros.

En pleno aislamiento social, el Ministerio de Educación de la Nación Argentina (2020) llevó a cabo la "Evaluación Nacional del Proceso de

Continuidad Pedagógica durante el COVID-19" en todo el país. Los resultados de esta evaluación fueron presentados en julio del 2020. Un dato importante de este estudio fue respecto al uso de recursos tecnológicos: el teléfono celular fue la vía de comunicación más utilizada para los intercambios entre docentes, estudiantes y familias, en todos los niveles de enseñanza, territorios y sectores sociales.

El Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia también produjo un informe sobre el impacto de la pandemia en la Argentina (UNICEF, 2020). De acuerdo a ese informe, el 18 % de los adolescentes del país no contaban con Internet en su hogar y el 37 % no tenía una computadora disponible para hacer trabajos escolares. Esas carencias eran críticas según UNICEF, ya que este organismo afirmaba que, en el contexto de emergencia, el acceso a Internet, a dispositivos digitales y el desarrollo de estrategias educativas alternativas eran fundamentales para sostener los aprendizajes de los niños, niñas y adolescentes en Argentina.

3 LA ENSEÑANZA REMOTA DE EMERGENCIA

La OEI (2022), en su informe de diagnóstico sobre la Educación Superior y la ciencia post COVID-19 en Iberoamérica, aportó datos interesantes que permitieron conocer las principales estrategias que utilizaron los docentes en contexto de ERE. La experiencia relevada da cuenta de que las plataformas fueron utilizadas en mayor medida como repositorio de documentos. También, las plataformas se emplearon para la realización de actividades asincrónicas y, en algunos casos, actividades sincrónicas. Los estudiantes tuvieron que hacer un esfuerzo de adaptación a lo que para muchos de ellos fueron nuevas formas de enseñanza y de aprendizaje. Las formas en las que el profesor seguía impartiendo una clase ordinaria que era retransmitida en directo y que podía ser recuperada en diferido fueron las más apreciadas por los estudiantes porque reproducían la dinámica a la que estaban acostumbrados. Las iniciativas que intentaron cambiar radicalmente las reglas de funcionamiento y exigieron a los estudiantes que salieran de su zona de confort sin ninguna capacitación previa fueron menos apreciadas porque, por razones bien distintas, los estudiantes de grado tienden a ser más conservadores de lo que podría pensarse o estar menos preparados para cambiar de modalidad. Por el contrario, el comportamiento de los estudiantes de posgrado parece ser, en este sentido, más abierto a metodologías participativas o que exijan un mayor grado de interacción entre ellos mismos y el profesorado.

Al reflexionar sobre la implementación de las estrategias de ERE mencionadas con anterioridad, Pedró (2020), citando a Falasco, plantea que la realidad actual ha mostrado que el uso de las tecnologías debe basarse en el impacto que pueden tener en la calidad de la enseñanza, por lo que no sería recomendable su empleo de forma generalizada, sino seleccionada o en situaciones como la que se vivió en la pandemia. También, la realidad actual ha mostrado que, si bien algunas carreras o materias son prácticamente imposibles de realizarlas en modalidad virtual, en otras resulta factible e incluso práctico. Surge entonces la necesidad de revisar las mallas curriculares en las universidades. Por un lado, la incorporación de las TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación) en los currículums beneficiaría tanto a estudiantes como a profesores y, por otro lado, representaría un ahorro sustancial de recursos.

Durante el contexto de emergencia, las estrategias didácticas empleadas para garantizar la continuidad pedagógica en las instituciones universitarias se enriquecieron con la experiencia ganada. Al analizar lo sucedido, Pedró (2020) plantea que no debe discutirse tanto si habrían existido alternativas mejores a las implementadas, sino que debe analizarse cómo se repararán las pérdidas de aprendizaje sufridas en ese periodo —en particular, en el caso de los estudiantes más vulnerables—, y cuáles serán los planes de contingencia que se diseñarán para evitar caer en los mismos errores en el futuro.

Por todo lo planteado, es evidente que la ERE y la EaD son dos modalidades totalmente distintas. Por lo tanto, no se puede transferir directamente todo el cuerpo teórico y práctico de la EaD a la ERE. Esta última modalidad requiere nuevas definiciones teóricas que guíen su práctica. Esas definiciones deben contemplar las profundas y significativasdiferencias epistemológicas, pedagógicas y didácticas que existen entre ellas. A modo de resumen de esas diferencias, se destacan las presentadas en la tabla 1.

Tabla 1. Diferencias epistemológicas, pedagógicas y didácticas que existen entre la EREyla EaD

Aspecto	Enseñanza Remota de Emergencia (ERE)	Educación a Distancia (EaD)
Definición	ERE se refiere a la implementación rápida de estrategias de enseñanza a distancia en situaciones de emergencia, como desastres naturales o pandemias.	EaD es un enfoque planificado y estructurado de la educación que se ofrece de manera regular y deliberada a través de medios y tecnologías a distancia.
Propósito	Abordar situaciones de crisis y garantizar la continuidad de la educación en circunstancias excepcionales.	Proporcionar una forma de aprendizaje flexible y accesible que se planifica con antelación y se entrega de manera sistemática.
Duración	Generalmente, es una respuesta temporal y de corto plazo a una emergencia, como una pandemia, con la intención de volver a la enseñanza presencial tan pronto como sea posible.	Puede ser a largo plazo, con programas y cursos diseñados para ofrecerse a lo largo de un semestre o año académico completo.
Planificación	Suele ser reactiva y rápida, con una implementación apresurada de tecnologías y métodos disponibles para garantizar la continuidad educativa.	Requiere una planificación cuidadosa, diseño de materiales, selección de tecnologías y desarrollo de estrategias pedagógicas específicas.
Interacción	La interacción entre estudiantes y docentes puede ser limitada debido a las circunstancias de emergencia y la falta de tiempo para una preparación adecuada.	Se planifica y fomenta la interacción entre estudiantes y docentes, con estrategias diseñadas para promover la participación activa y el aprendizaje colaborativo.
Evaluación	Puede ser menos rigurosa y basarse en métodos simplificados debido a la urgencia, lo que puede afectar la calidad de la evaluación.	La evaluación se planifica y se adapta cuidadosamente a los objetivos de aprendizaje, con métodos y criterios establecidos de antemano.
Recursos tecnológicos	Se utilizan principalmente las herramientas y tecnologías disponibles de forma inmediata, sin un análisis exhaustivo de las mejores opciones.	Se pueden seleccionar y utilizar tecnologías más apropiadas y efectivas para el aprendizaje en línea, con consideración de las necesidades de los estudiantes.
Capacitación docente	Los docentes pueden recibir capacitación de emergencia, pero la preparación pedagógica y tecnológica puede ser limitada.	Los docentes suelen recibir capacitación previa en diseño instruccional y pedagogía en línea para ofrecer una experiencia de calidad.
Flexibilidad y adaptación	Puede haber limitaciones en la adaptación a las necesidades individuales de los estudiantes debido a la urgencia y las restricciones tecnológicas.	Se diseñan estrategias y actividades flexibles para adaptarse a las necesidades de los estudiantes y promover el aprendizaje personalizado.
Calidad educativa	La calidad educativa puede verse comprometida debido a la falta de planificación y la respuesta a situaciones de emergencia.	Se busca mantener y mejorar la calidad educativa a través de la planificación y la mejora continua.

4 LA ENSEÑANZA Y LAS TIC EN LA UNIVERSIDAD

El siglo XXI, interpelado por la pandemia, es un siglo en donde todo está informatizado, en donde la vida se realiza a través de dispositivos informáticos, un siglo que ya no admite una enseñanza sin la mediación tecnológica (Gálvez y Argañaraz, 2019). En este contexto, en las instituciones educativas, se desempeñan una diversidad de docentes con diferentes niveles de conocimiento y uso de tecnologías en sus prácticas áulicas en conjunto con estudiantes que presentan esa misma diversidad. En ese escenario, la presencia de la tecnología es un fenómeno ubicuo e irreversible, y el sistema educativo no puede desconocer esa realidad. Para Kuklinsky y Cobos (2020), más de la mitad del planeta tiene acceso a algún tipo de contenido en línea. Sin embargo, existe una conectividad de tipo tecnológica, y otra cognitiva y conceptual que sigue presentándose como un desafío central para muchas instituciones educativas. Pérez Gómez (2012) acuerda con lo anterior al decir que “ahora el problema no es de acceso, sino de selección, organización y utilización creativa de la

información y el conocimiento que se considera valioso".

El uso de las TIC representa un cambio en la educación, en las relaciones interpersonales y en la forma de difundir y generar conocimiento. En este contexto, las herramientas digitales no son neutrales porque cuando se las utiliza con la intención de transformar la realidad, algo en el interior de las personas también se transforma. Desde esta línea, sostiene Pérez Gómez (2013) que las tecnologías han creado un nuevo escenario para el pensamiento, el aprendizaje, la comunicación humana y el conocimiento.

Sin embargo, Salomon (2016) plantea que las TIC no tuvieron el impacto esperado en la educación por tres motivos principalmente. El primero es la inercia del sistema educativo, el cual incorpora las TIC a sus prácticas cotidianas, pero sin cambiar nada. El segundo es la creencia de que la sola incorporación de las TIC es suficiente para garantizar una mejora. El tercero son las investigaciones deficientes que llegan a conclusiones erradas, produciendo recomendaciones también erradas.

Maggio (2012) afirma que es necesario una incorporación genuina de las TIC en los diseños didácticos de los docentes, con propuestas que se ajusten a la realidad de los estudiantes y la institución, buscando un carácter pedagógico innovador que reconozca el sentido epistemológico y social de las TIC en la actualidad.

Kuklinsky y Cobos (2020) afirman que, más allá de la crisis sanitaria global producto del COVID-19, es esperable que las universidades sigan sufriendo cierres temporales por desastres naturales, actos terroristas u otras violencias, problemas de salud pública o todo tipo de situaciones imprevistas. Por lo que se deberían considerar otras situaciones, incluyendo la normal, donde una estrategia educativa permanente bien diseñada podría transformarse en una experiencia de alto valor diferencial de una universidad con respecto a otras.

En este marco, y por lo planteado en el apartado anterior, a continuación, se detallan los aspectos que se observaron durante la ERE:

- La mayoría de los docentes no estaban y no están en condiciones de implementar la EaD.
- Los encuentros sincrónicos demostraron ser efectivos y deseables por parte de los estudiantes.
- La enseñanza fue más efectiva cuando el docente asumió un rol protagónico para enseñar y contener.
- Los estudiantes no estaban ni están en condiciones de asumir un rol autónomo debido a la falta de preparación y al estrés que provoca un cambio de modalidad.
- Los estudiantes fueron sobrecargados y confundidos por la diversidad de estrategias adoptadas por los docentes.

Por todo lo planteado, es necesario encontrar un punto medio entre la EaD y la Educación Presencial que sí pueda ser implementado por la mayoría de los docentes. Con el fin de caracterizar esta modalidad intermedia, denominada Enseñanza Contextualizada, a continuación, se propone una serie de lineamientos.

5 METODOLOGÍA PARA LA FORMULACIÓN DE LINEAMIENTOS

Davini (2015) entiende a la práctica docente como una "fuente de conocimiento". En el mismo sentido, Latorre (2007) plantea que un docente es un investigador de su propia práctica porque debe analizar, planificar, desarrollar y construir conocimiento en función de las emergencias que surgen en los procesos educativos. Por lo tanto, la investigación de la propia práctica es oportuna en contextos de transición porque potencia innovaciones educativas que nacen desde el propio rol docente.

Considerando el marco planteado, un grupo de docentes de la Facultad de Ingeniería de la UNJu, del cual los autores del presente trabajo formaron parte, organizó reuniones para compartir y evaluar lo realizado durante el año 2020: planificaciones, estrategias didácticas, instrumento de evaluación, herramientas tecnológicas, etc.Por otra parte, se realizaron entrevistas y encuestas a estudiantes y docentes, las cuales fueron sistematizadaspara, a partir de sus trayectos, identificar qué estrategias didácticas fueron las más efectivas.

Como resultado del trabajo realizado, surgieron los primeros lineamientos para la ERE elaborados por dicho grupo de docentes. Estos lineamientos fueron socializados y sometidos a debates en distintas reuniones científicas (Tarifa et al., 2021a; Tarifa et al., 2021b;Tarifa et al., 2021).

Por último, los lineamientos fueron llevados a la práctica en un curso de capacitación sobre ERE

que se dictó a docentes de la Escuela de Minas de la UNJu en 2021.Desde entonces, los lineamientos que se proponen en este trabajo fueron aplicados en el dictado de varios cursos de grado y posgrado en la UNJu y en UNSE. En todos estos cursos, se solicitó retroalimentación a los asistentes para perfeccionar los lineamientos formulados.

6 LINEAMIENTOS PROPUESTOS

Dos ideas fundamentales guiaron el diseño de los lineamientos que se proponen en esta sección. La primera es que una Enseñanza Contextualizada debe aprovechar toda la experiencia que los docentes y los estudiantes tienen de la modalidad presencial para mantener la calidad de la formación. La segunda es que el foco de una Enseñanza Contextualizada debe ser la continuidad pedagógica del estudiante; es decir, su retención. De esta manera, los lineamientos propuestos tienden a reducir al mínimo el tiempo y el esfuerzo requeridos para la adaptación a un nuevo contexto.

Si bien los lineamientos que se sugieren fueron formulados considerando un contexto de emergencia, pueden emplearse también en el contexto de transición hacia una nueva normalidad para superar las limitaciones de infraestructura y de formación de docentes y estudiantes.

A continuación, se presentan los lineamientos que se proponen para la capacitación de docentes, la capacitación de estudiantes y el dictado de materias y cursos.

6.1 *Lineamientos para la capacitación de docentes*

Considerando que los docentes están sobrecargados en un contexto de emergencia, la capacitación no debe ser un elemento más que aumente esa sobrecarga. Adicionalmente, la capacitación debe brindar soluciones que pue-dan implementarse en forma inmediata. Por lo tanto, se sugieren los siguientes lineamientos para los cursos de capacitación de docentes:

- Deben ser gratuitos y obligatorios.
- La carga horaria total debe ser inferior a las 20 h.
- El contenido completo del curso se debe dictar en encuentros virtuales sincrónicos.
- Se deben evitar las actividades asincrónicas.
- El contenido debe ser eminentemente práctico.
- El curso debe ser prescriptivo.
- El contenido debe contemplar la utilización de únicamente las herramientas TIC necesarias y disponibles.
- El contenido debe contemplar únicamente las estrategias didácticas necesarias.
- El diseño del curso debe tener siempre en cuenta que es un curso de capacitación en un contexto planteado por una emergencia. No es un curso de actualización, ni de perfeccionamiento, ni de posgrado. Por lo tanto, el contenido debe incluir los elementos mínimos necesarios que permitan a cada docente trasladar toda la experiencia que tiene en el dictado presencial al dictado virtual.
- El temario mínimo debe incluir los siguientes puntos:
  - Uso del aula virtual
  - Edición del aula virtual
  - Videoconferencias: Dinámica de las videoconferencias. Objetivos de las videoconferencias: contención y formación. Herramientas TIC.
  - Materiales: Elaboración de presentaciones apropiadas. Elaboración de documentos PDF. No se debe pretender que los docentes aprendan a elaborar materiales más complejos como, por ejemplo, videos.
  - Técnicas de evaluación: Debe predominar la evaluación formativa por sobre la sumativa.

6.2 *Lineamientos para la capacitación de estudiantes*

Si bien los estudiantes tienen contacto con la tecnología desde que nacen, ello no implica que no necesiten capacitación en el uso de las TIC para actividades educativas. Por lo tanto, se recomienda que se contemplen cursos de capacitación destinados específicamente a los estudiantes. Los lineamientos sugeridos para estos cursos son los siguientes:

- Deben ser gratuitos y obligatorios.
- La carga horaria total debe ser inferior a las 10 h.
- El contenido completo del curso se debe dictar en encuentros virtuales sincrónicos.
- Se deben evitar las actividades asincrónicas.
- El contenido debe ser eminentemente práctico.
- El contenido debe contemplar la utilización de únicamente las herramientas TIC necesarias y disponibles.

- El temario mínimo debe incluir los siguientes puntos:
  - Uso del aula virtual: Utilización de foros, cuestionarios y actividades.
  - Videoconferencias: Herramientas TIC.
  - Materiales: Elaboración de presentaciones apropiadas. Elaboración de documentos PDF.

6.3 *Lineamientos para el dictado de materias y cursos*

Un contexto de emergencia provoca estrés en los estudiantes. Los problemas de conexión, la falta de espacios adecuados, las limitaciones de los dispositivos disponibles, los problemas familiares, la incertidumbre de la situación, la multiplicidad de modalidades adoptadas por los profesores de las diferentes materias, entre otros factores, atentan contra el desempeño académico de los estudiantes. Por otra parte, los docentes enfrentan problemas similares, y lo hacen sin contar con la infraestructura y los materiales requeridos para el dictado virtual. Considerando lo planteado, se sugieren los siguientes lineamientos para el dictado de materias y cursos en contexto de una emergencia:

- Para el contenido:
  - Realizar una selección de contenidos.
  - Dictar el contenido seleccionado en encuentros virtuales sincrónicos. No se debe pretender que los estudiantes aprendan nuevo contenido por ellos mismos mediante la utilización de material que no está específicamente diseñado para ese fin.
  - Reducir al mínimo las tareas requeridas a los estudiantes.
- Para las evaluaciones:
  - Tener tolerancia a los fallos técnicos de los equipos y conexiones de los estudiantes.
  - Considerar el estado emocional de los estudiantes.
  - Considerar el contexto.
  - Postergar las evaluaciones sumativas todo lo posible. Se prefieren las evaluaciones asincrónicas para reducir la ansiedad de los estudiantes (Tarifa et al., 2021b).
- Para los materiales:
  - Evitar el uso de fotografías de libros.
  - Se prefiere el uso de material multimedia.
  - Los videos recomendados no deben superar los 10 min de duración.
  - Evitar los documentos PDF escaneados como imágenes.
- Para los encuentros:
  - Realizar encuentros virtuales sincrónicos: videoconferencias.
  - Mantener los días y horarios que la materia tenía en el contexto normal.
  - Crear un único link para las videoconferencias y publicarlo en el aula virtual.
  - Evitar el empleo de aplicaciones de videoconferencia que requieran la instalación del software. Se recomienda el empleo de BigBlueButton por su versatilidad e integración con Moodle.
  - Publicar las grabaciones de los encuentros en el aula virtual.
  - Utilizar herramientas para la toma de asistencia automática con el fin de evitar interrupciones en los encuentros. Una de las herramientas que puede utilizarse para esta tarea puede ser el bloque Participantes, disponible en Moodle. Este bloque brinda la información sobre el momento del último ingreso al aula virtual de cada usuario. Otra alternativa, si se emplea Google Meet, es utilizar el complemento “Pasar lista en Meet”.
  - Aprovechar las ventajas de las videoconferencias. En ellas, todos los estudiantes están “en la primera fila”. Todos tienen la misma oportunidad de participar. Todos pueden compartir sus pantallas para que sus compañeros realicen aportes. Se puede emplear la información disponible en Internet. Se puede emplear material multimedia.
  - Reducir la sobrecarga de la aplicación y evitar distracciones. Para ello, se recomienda que los estudiantes enciendan sus cámaras solo al inicio y al final de la clase, para el saludo y la despedida. En las actividades participativas, se recomienda el encendido de la cámara del estudiante que esté participando.
  - Planificar cada videoconferencia para que no supere las 2 h de duración. Realizar una pausa

de 10 min al cumplirse la primera hora. Realizar actividades participativas cada 15 min.

- Diseñar en forma adecuada las presentaciones a emplear en las videoconferencias.
- Considerar que la pantalla empleada por un estudiante puede ser la de un celular. Por lo cual, se debe contar con una aplicación para hacer zoom cuando sea necesario. Para ese fin, se recomienda la aplicación nativa de Windows, Lupa, o la aplicación ZoomIt.
- Tener disponible una pizarra virtual para desarrollar algún tema que no fue incorporado a la presentación. Generalmente, la pizarra es necesaria para contestar consultas de los estudiantes. Se recomienda la aplicación IDroo. También, pueden usarse las pizarras incluidas en BigBlueButton, Zoom y Google Meet (Tarifa et al., 2021b). Con el mismo fin, se puede emplear una aplicación para realizar anotaciones en la pantalla, sobre la presentación. Se recomienda la aplicación ZoomIt para ello.
- Emplear únicamente las herramientas informáticas necesarias.
- Emplear herramientas informáticas específicamente diseñadas para el temario cubierto por la materia o curso.
- Considerar que el empleo de presentaciones reduce el tiempo de dictado. El tiempo ganado de esta forma debe ser empleado para generar actividades participativas, no para aumentar el contenido a dictar.
- Realizar las siguientes actividades en el primer encuentro sincrónico con el fin de establecer un contacto efectivo con los estudiantes:
  - Presentar el aula virtual
  - Presentar la guía rápida del aula virtual
  - Presentar el acuerdo pedagógico que por lo menos especifique los siguientes puntos:
    - Días y horarios de clase
    - Forma de realizar consultas en clase y en el aula virtual
    - Condiciones para regularizar: asistencia, evaluaciones.
    - Programa de la materia
    - Bibliografía

- Para el aula virtual:
  - Emplear la plataforma de la institución.
  - Establecer al aula virtual como el único medio de comunicación con los estudiantes para evitar confusiones.
  - Establecer al aula virtual como espacio de trabajo asincrónico para apoyar el desarrollo de la parte práctica de la materia o curso.
  - Implementar un foro de Avisos para que la cátedra publique las comunicaciones oficiales en él.
  - Implementar un foro de Consultas para que los estudiantes comuniquen sus consultas a la cátedra.
  - Contar con un único link para acceder a las videoconferencias de las clases.
  - Contar con una sección que contenga las grabaciones de las videoconferencias.
  - Contar con una sección de materiales que sustituya el material de biblioteca al cual no pueden acceder los estudiantes durante la emergencia.
  - Incluir la siguiente documentación de la cátedra:
    - Guía rápida del aula virtual
    - Programa analítico
    - Objetivos y sistema de evaluación
    - Guía para la elaboración de los TP o de las experiencias de aprendizaje
    - Calendario de evaluaciones

7 CONCLUSIONES

A modo de cierre de este trabajo, teniendo en cuenta que no hay definiciones acabadas, es pertinente en estos momentos los aportes de Lévy (2000), quien afirma que toda reflexión seria sobre el futuro de los sistemas de educación debe basarse en un análisis de los cambios que experimenta la relación de la sociedad con el conocimiento. En el contexto planteado por la pandemia, las TIC asumieron el rol de

intermediario exclusivo entre la sociedad y el conocimiento. Esto impulsó la aparición de nuevos conocimientos, de nuevos criterios de evaluación y de nuevos actores en la producción y tratamiento del conocimiento. Estos cambios deben necesariamente ser tenidos en cuenta en la formulación de cualquier política educativa en el nivel superior con el fin de que todo lo aprendido con tanto dolor y esfuerzo sea de beneficio para las generaciones futuras.

8 REFERENCIAS

Cardini, A.; Bergamaschi, A.; D'allesandre, V.; Torre, E. y Olivier, A. (2020). La educación en tiempos de pandemia: Entre el aislamiento y el distanciamiento social. https://www.cippec.org/publicacion/educar-en-tiempos-de-pandemia/

Davini, M. (2015). *La formación en la práctica docente*. Editorial Paidós.

Gálvez M.P. y Argañaraz J. F. (2019). Acortando distancias: realidad aumentada, un TIC que une docentes y estudiantes en prácticas colaborativas. *X Jornadas de educación y diversidad Sociocultural en contextos regionales*, San Salvador de Jujuy.

Hodges, C.; Moore, S.;Lockee, B.; Trust, T. y Bond, A. (2020, marzo 17). Thedifferencebetweenemergency remote teaching and online learning. *EDUCAUSE*. https://er.educause.edu/articles/2020/3/the-difference-between-emergency-remote-teaching-and-online-learning

Instituto Internacional para la Educación Superior en América Latina y el Caribe (2020).COVID-19 y educación superior: De los efectos inmediatos al día después. Análisis de impactos, respuestas políticas y recomendaciones.https://www.iesalc.unesco.org/wp-content/uploads/2020/05/COVID-19-ES-130520.pdf

KuklinskyP. y C. Cobos (2020).Expandir la universidad más allá de la enseñanza remota de emergencia Ideas hacia un modelo híbrido post-pandemia. OutliersSchool.https://outliersschool.net/wp-content/uploads/2020/05/Expandir_la_universidad.pdf

Latorre, A. (2007). *La investigación-acción. Conocer y cambiar la práctica educativa*. Editorial Grao.

Lévy, P. (2000). La cibercultura y la educación. *Pedagogía y Saberes*, (14), 23.31. https://doi.org/10.17227/01212494.14pys23.31 Maggio M., *Enriquecer la enseñanza.* Editorial Paidós, 2012.

Ministerio de Educación de la Nación Argentina. (2020). Evaluación Nacional del Proceso de Continuidad Pedagógica durante el COVID.

Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, Ciencia y la Cultura (2022).Informe de diagnóstico sobre la educación superior y la ciencia post COVID-19 en Iberoamérica. Perspectivas y desafíos de futuro.https://oei.int/oficinas/secretaria-general/publicaciones/informe-diagnostico-sobre-la-educacion-superior-y-la-ciencia-post-covid-19-en-iberoamerica-perspectivas-y-desafios-de-futuro-2022

Pedró F. (2020).Covid-19 y Educación Superior en América Latina y el Caribe: efectos, impactos y recomendaciones políticas.https://www.fundacioncarolina.es/wp-content/uploads/2020/06/AC-36.-2020.pdf

Pérez Gómez A. (2012). Conversamos con Ángel Pérez sobre su nuevo libro Educarse en la era digital. https://edmorata.es/tag/autores-y-entrevistas/

Pérez Gómez A. (2013). Educarse en la era digital: Una nueva ilustración para la escuela.http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-109X2013000100009

Salomon, G. (2016). It'sNot Just the Tool buttheEducationalRationalethatCounts. In: Elstad, E. (eds) *EducationalTechnology and PolycontextualBridging*. SensePublishers, Rotterdam. https://doi.org/10.1007/978-94-6300-645-3_8

Sánchez Aguiar, C. P. (2020, agosto 10). ¿Qué es la Enseñanza Remota de Emergencia (ERE)? *Divulgación Científica UPB*. https://www.upb.edu.co/es/blogs/educacion-remota-emergencia

Tarifa, E. E.; Argañaraz, J. F. y Martínez, S. L. (2021a). La Educación remota de Emergencia

en la universidad. Eje 1: Estrategias de enseñanza innovadoras en el nivel superior. *I Jornadas de prácticas universitarias innovadoras en los nuevos contextos*. Universidad Nacional de Jujuy.

Tarifa, E. E.; Argañaraz, J. F. y Martínez, S. L. (2021b). Aplicaciones informáticas para clases virtuales en dos materias de ingeniería. Eje 1: Buenas prácticas de enseñanza. *VIII Jornadas de Innovación educativa: Investigaciones y desafíos académicos en el siglo XXI*. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Jujuy.

Tarifa, E. E.; Núñez, A. F. y Argañaraz, J. F. (2021). Experiencias de evaluación con modalidad virtual de trabajos prácticos en dos materias de ingeniería. Eje 1: Buenas prácticas de enseñanza. *VIII Jornadas de Innovación educativa: Investigaciones y desafíos académicos en el siglo XXI*. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Jujuy.

UNICEF (2020). Encuesta de percepción y actitudes de la población: impacto de la pandemia Covid-19 y las medidas adoptadas por el gobierno sobre la vida cotidiana. Segunda Ola.

Interpretación de Autovalores y Autovectores de una matriz desde la perspectiva de los Modos de Pensamiento.

Carabús, Paola Antonella[1]; Herrera, Carlos Gabriel[1]

(1) Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas – Universidad Nacional de Catamarca.

antonellacarabus@gmail.com; cgherrera@tecno.unca.edu.ar

RESUMEN

Investigaciones recientes sobre el proceso de aprendizaje de autovalores y autovectores de una matriz, coinciden en que los alumnos tienden a pensar este concepto como una aplicación de técnicas o procedimientos algorítmicos para su cálculo y dificultades para comprender su definición o su interpretación geométrica. En ese sentido se presenta una investigación preliminar realizada durante el cursado de la asignatura Álgebra de primer año de carreras de Ingeniería, sobre una muestra de veinte alumnos donde se analiza la interpretación de los conceptos de autovalor, autovector y autoespacio, desde el punto de vista algebraico, geométrico, y vinculándolo con la singularidad o no de la matriz de 2x2. Esta investigación se fundamenta en la teoría de Modos de Pensamiento de Conceptos de Álgebra Lineal. Los resultados de esta investigación indican que en general no se presentan dificultades para el cálculo algebraico de los autovalores, autovectores de una matriz. Se presentan mayores dificultades en la interpretación geométrica de la definicióny,en mayor medida en vincular los autovalores y autovectores con la singularidad o no de la matriz.Estos resultados indican que en primera instancia predomina el modo de pensamiento Analítico – Algebraico, dificultándose el tránsito a los modos Sintético – Geométrico y Analítico – Estructural.

ABSTRACT

Research on the learning process of eigenvalues and eigenvectors of a matrix agree that students tend to think of this concept as an application of algorithmic techniques or procedures for its calculation and difficulties in understanding its definition or its geometric interpretation. In this sense, a preliminary investigation carried out during the course of the Algebra subject in the first year of Engineering careers is presented, on a sample of twenty students where the interpretation of the concepts of eigenvalue, eigenvector and eigenspace are analyzed, from the point of view algebraic, geometric, and linking it with the singularity or not of the 2x2 matrix. This research is supported on the theory of Modes of Thinking of Linear Algebra Concepts. Results of this investigation shows that there are no difficulties for the algebraic calculation of the eigenvalues, eigenvectors of a matrix. There are greater difficulties in the geometric interpretation of the definition, and to a greater extent in linking the eigenvalues and eigenvectors with the singularity or not of the matrix, especially when working geometrically. These results indicate that in the first instance the Analytical-Algebraic mode of thought predominates, making it difficult to move to the Synthetic-Geometric and Analytical-Structural.

Palabras Claves: ÁLGEBRA LINEAL – AUTOVALORES – MODOS DE PENSAMIENTO

Keywords: LINEAR ALGEBRA – EIGENVALUES – MODES OF THINKING

1 INTRODUCCIÓN

Investigaciones sobre el aprendizaje de conceptos de álgebra lineal, coinciden en que es una rama de la matemática dificultosa para los estudiantes. En ese sentido en Dorier, Robert, Robinet y Rogalsky (1997) se hace mención del "Obstáculo del Formalismo", es decir la tendencia de los estudiantes comportarse como si las representaciones simbólicas formales de los objetos del álgebra lineal fueran los objetos en sí mismos, por lo cual manipulan las representaciones mecánicamente sin comprender su significado ni percibir las relaciones entre ellas. Otras dificultades detectadas provienen de los diferentes lenguajes utilizados en Álgebra Lineal. Hillel (2000) distinguió tres lenguajes básicos utilizados en álgebra lineal: el 'lenguaje abstracto' de la teoría abstracta general, el 'lenguaje algebraico' de la teoría R^n y el 'lenguaje geométrico' de los espacios de dos y tres dimensiones, que corresponden a tres modos de pensamiento: el analítico-estructural, el analítico-aritmético y el sintético-geométrico respectivamente (Sierpinska, 2000). Pavlopoulou (1993) analizó las dificultades en la comprensión de conceptos a partir de la coordinación de registros de representación semiótica de vectores: el registro gráfico, el registro tabular, y el registro simbólico asociado a la teoría axiomática de los espacios vectoriales. También identificó una serie de errores de los estudiantes que podrían ser interpretados como una confusión entre un objeto y su representación, como ser un vector y su representación geométrica o como una dificultad en la conversión de un registro a otro. Respecto a los conceptos de Autovalores y Autovectores existen trabajos que reflejan dificultades de comprensión, en especial de interpretación geométrica de los conceptos. En particular señalan la importancia del trabajo en un entorno geométri Gol (2012: 162), en su estudio sugiere que "la integración de un entorno geométrico dinámico en la enseñanza del álgebra lineal elemental podría permitir a los estudiantes construir su propia comprensión, más geométrica, de los conceptos. A través de la interacción con la geometría dinámica, los estudiantes podrían producir una mayor coordinación entre las presentaciones simbólicas - estáticas que se encuentran en los libros de texto y las dinámicas en la computadora. Esto ayudaría a los estudiantes a desarrollar flexibilidad entre los modos de descripción y representación, así como entre los diferentes modos de pensamiento." Wawro, Watson, Zandieh (2018) mencionan en su introducción las ventajas de trabajar en un entorno geométrico dinámico y también el uso de modelos. Trabaja sobre la comprensión de la combinación lineal de vectores propios. Thomas y Steward (2011) demostraron que los estudiantes tienden a pensar en los conceptos de valores propios y vectores propios como la aplicación de técnicas. Por lo general, no entienden el significado de las definiciones y no pueden aplicarlas, incluso en problemas simples. De hecho, sus hallazgos muestran que la mayoría de los estudiantes manipulan los símbolos algebraicamente sin comprender los conceptos a los que se refieren. Por lo general, a los estudiantes universitarios se les presenta el tema de los vectores propios y los valores propios a través de una definición formal, y pronto están manipulando representaciones algebraicas y matriciales. En el mismo sentido Bouhjar, Andrews-Larson, Haider, Zandieh (2018) sugieren que existe una desconexión entre la comprensión de los estudiantes de los procedimientos estándar para encontrar valores propios y la definición formal de un vector propio y un valor propio, y que los estudiantes son más capaces de ejecutar el procedimiento estándar que dibujar una comprensión conceptual alineada con la definición formal $A.x = \lambda.x$. En ese sentido a partir del concepto de transformaciones lineales se empezó a trabajar en un contexto de geometría dinámica, en el espacio vectorial $(R^2, +, R, *)$ analizando las transformaciones $T:R^2 \rightarrow R^2$ / $T(x) = A.x$ siendo A la matriz asociada a la transformación lineal. Seguidamente utilizando el mismo aplicativo se analiza geométricamente la expresión $A.x = \lambda.x$ para una variedad de matrices A. En función de lo citado precedentemente se plantea como objetivo de la investigación analizar la comprensión de los conceptos de autovalores, autovectores y espacios propios de una matriz asociada a una transformación lineal $T:R^2 \rightarrow R^2$, desde el punto de vista de los modos de pensamientos para conceptos de Álgebra Lineal propuesto por Sierpinska (2000).

2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA: MODOS DE PENSAMIENTO EN ÁLGEBRA LINEAL

El trabajo se sustenta en los modos de pensamiento para conceptos del Álgebra Lineal propuestos por Sierpinska (2000), quién reporta tres modos de pensamiento, el pensamiento sintético-geométrico (SG) que implica descripciones geométricas para visualizar objetos matemáticos en un espacio de dos y tres dimensiones, el pensamiento analítico-aritmético (AA) implica describir una configuración adecuada para llevar a cabo cálculos y especificar un objeto mediante una fórmula y el pensamiento analítico estructural (AE) implica describir un objeto matemático a través de sus propiedades. Cada uno de estos modos de pensamiento en el álgebra lineal, utilizan un sistema de representación específico: el modo de pensamiento sintético-geométrico usa el lenguaje geométrico de planos, líneas e intersecciones, en el modo analítico-aritmético, las figuras geométricas son entendidas como conjuntos de n-uplas de números que satisfacen ciertas condiciones, por ejemplo en forma de sistemas de ecuaciones y, en el modo de pensamiento analítico-estructural, se sintetizan en una estructura los elementos algebraicos de las representaciones analíticas. A modo de ejemplo, en el modo sintético-geométrico, los estudiantes pueden determinar la independencia lineal de los vectores usando sus gráficos proporcionados en R^2 o R^3. Describen los vectores y su independencia lineal, pero no pueden definirlos (Doğan, 2010). Por otro lado, en el modo analítico aritmético los estudiantes pueden determinar la independencia lineal de los vectores basada en el cálculo utilizando la definición o -en casos especiales- una matriz construida a partir de los vectores, en el modo analítico-estructural los estudiantes pueden considerar los vectores en relación con los espacios vectoriales, y determinar su independencia lineal utilizando conceptos de relación (combinación lineal, dimensión) o teoremas. (Celik, 2015).

Otra diferencia entre estos modos es que utilizan sistemas específicos de representación. Generalmente, el modo sintético utiliza la representación geométrica, mientras que los modos analíticos utilizan representaciones numéricas y algebraicas.

En el caso de autovalores y autovectores correspondientes a una matriz R^{nxn}, se consideran para este trabajo las siguientes situaciones relacionadas con los modos de pensamiento:

a) Sintético-Geométrico: Identifican propiedades geométricas de autovalores y autovectores. Por ejemplo, si A es una matriz asociada a una transformación lineal T:R2→R2 y A.x = 2x identifican geométricamente los autovalores λ=2, los autoespacios y autovectores de la matriz.

b) Analítico-Aritmético: predomina el cálculo de autovalores y autovectores a través de procedimientos algebraicos.

C) Analítico-Estructural: en este caso a modo de ejemplo, se pueden determinar los autovalores y autovectores a partir de invariantes, suma de diagonal de la matriz es igual a la suma de los autovalores, o singularidad de la matriz lo que implica que un autovalor es nulo.

3 METODOLOGÍA

En esta primera etapa de la investigación se realiza un análisis cuantitativo de respuestas de los alumnos a situaciones planteadas que implica identificar o calcular autovalores, espacios propios y autovectores de una matriz. El estudio de frecuencias de respuestas correctas a cada apartado del instrumento utilizado permite identificar cuáles son los modos predominantes de pensamiento al resolver estas situaciones y las dificultades que se pueden presentar.

El estudio será de carácter descriptivo, ya que busca especificar las propiedades de personas, grupos o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis (Dankhe, 1986) citado por Hernández Sampieri, Fernández Collado, Baptista (2014).

De acuerdo a la variable tiempo el estudio será de carácter transversal, porque se realizarán una sola toma de datos, durante el desarrollo de los temas transformaciones lineales, autovalores y autovectores.

La población en estudio corresponde a alumnos matriculados en la asignatura Álgebra del Ciclo de Formación Básica de carreras de Ingeniería de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca. Los criterios

de selección de muestra corresponderán a alumnos con asistencia regular a las clases teórico-prácticas, que no sean reinscriptos y se encuentren en condiciones para cursar de acuerdo al sistema de gestión de la Facultad. Se ha considerado para este estudio una muestra aleatoria de 20 alumnos.

El instrumento de recolección de datos consistió en un cuestionario que constaba de dos situaciones que se describen a continuación:

La primera parte requería por parte de los alumnos del cálculo algebraico de una matriz de 2x2, donde se solicitaba además de los autovalores, el cálculo de espacios propios y autovectores, solicitándose que indique y justifique si la matriz es diagonalizable y si la matriz (A-ʎI) es singular o no singular.

La segunda parte de este instrumento, predominantemente gráfica, es de similares características a utilizados por Bouhjar, Andrews Larson, Haider y Zandieh (2018)o Thomas y Stwwart (2011), aunque no igual, consistió en identificar los autovalores, espacios propios de modo gráfico a través de la siguiente situación:

Sean transformaciones lineales lineal T: R2→R2, cuya matriz asociada es A, indique, de acuerdo a los transformados de los vectores u y v, los autovalores de la matriz A y espacios propios respectivos. Indique, en cada caso, si la matriz A es singular o no singular:

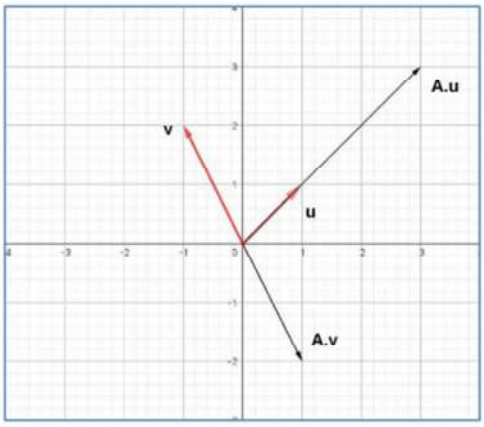


Figura 1. Caso A

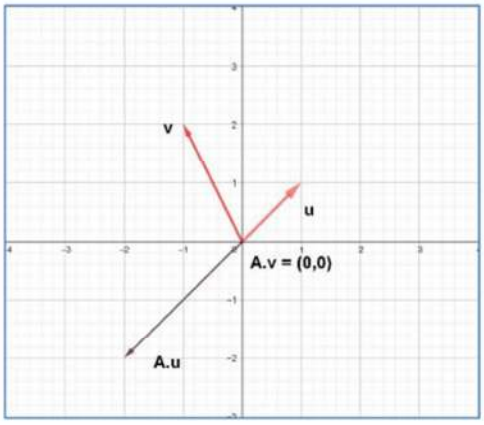


Figura 2. Caso B

Se pretende en esta parte del instrumento conocer si el alumno identifica geométricamente los autovalores y autoespacios de una matriz asociada a una transformación lineal partiendo que por definición Au = ʎu es decir que un vector u y su transformado A.u son paralelosó Au = 0u = **0.** En esta parte del instrumento se pretendía también que el alumno identifique la singularidad de una matriz a cuando uno de los autovalores es cero.

4 RESULTADOS

En Figura3 se presentan los porcentajes de respuestas correctas por parte de los alumnos respecto a el cálculo algebraico de autovalores, autoespacios y autovectores de una matriz 2x2.

Figura 3: Porcentaje de respuestas correctas a la primera actividad del instrumento de Recolección de Datos

El 90 % de los alumnos de la muestra pueden calcular correctamente en forma algebraica los autovalores, autoespacios y vectores propios de la matriz. De ellos el 50% (Frecuencia 10) de los alumnos identifican la matriz A-ʎI como singular, mientras que un grupo el 40% (Frecuencia 8), que determinan correctamente los autovalores de la matriz, no logran identificar la matriz A-ʎI como singular como se observa en Tabla 1. Un 10% (Frecuencia 2) de alumnos no logran calcular los autovalores correctamente .

Tabla 1: Frecuencias para determinar la singularidad de la matriz, a partir de autovalores obtenidos algebraicamente.

Frecuencias	Identifican la matriz A-ʎI como singular	No identifican la matriz A-ʎ como singular
Calculan autovalores Algebraicamente	10	8

Respecto de la segunda actividad, que consistió fundamentalmente en la interpretación geométrica de autovectores y autovalores, relacionando los valores son la singularidad de la matriz, los porcentajes de respuestas correctas se observan en la Fig. 4.

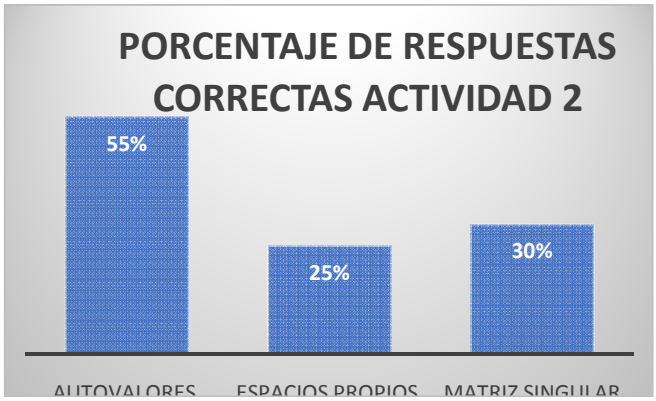


Figura 4: Porcentaje de respuestas correctas a la segunda actividad del Instrumento de Recolección de Datos.

El 55% (10) de los estudiantes determinó geométricamente los autovalores de la matriz asociada A, pero solamente el 25% (5) indicó los espacios propios respectivos.Por otro lado, el 30% (6) de los estudiantes pudo relacionar la singularidad de la matriz con los autovalores. En el primer gráfico se observa que la matriz es no singular, ya que no tiene autovalores nulos. En cambio, en el segundo la matriz es singular porque tiene un autovalor = 0

.

Tabla 2: Frecuencias para determinar los espacios propios gráficamente, a partir de autovalores obtenidos geométricamente.

Frecuencias	Identifican Espacios Propios gráficamente	No identifican Espacios Propios gráficamente
Calculan Autovalores Geométricamente	5	6

Respecto a los alumnos que identifican los autovalores gráficamente, 55% de la muestra, un 25% (5) de la muestra identifica los autoespacios y vectores propios, mientras que un 30% (6) no lo hace. En Tabla 3 se observan las frecuencias de alumnos que identifican geométricamente los autovalores de una matriz de acuerdo a los transformados de dos vectores u y v, y pueden identificar la matriz asociada a la Transformación Lineal A como singular o no singular

Tabla 3: Frecuencias para determinar la singularidad de la matriz asociada A, a partir de autovalores obtenidos geométricamente.

Frecuencias	Identifican la singularidad de la matriz asociada A	No identifican la singularidad de la matriz asociada A
Calculan autovalores geométricamenbte	5	6

En este caso del 20% (5) de los alumnos identifica gráficamente los autovalores de una matriz A asociada a una Transformación Lineal T: R2 → R2 a partir de los transformados de dos vectores u y v, y logra identificar que la matriz A es singular o no singular de acuerdo a sus autovalores. Un 30% (6) identifica los autovalores, pero no logra responder correctamente si la matriz A es singular o no singular.

5 CONCLUSIONES

Como conclusiones preliminares de este trabajo se observa que predomina el modo de pensamiento Analítico – Aritmético sobre el Sintético - Geométrico. Ello se desprende que aritméticamente no tienen dificultades en calcular autovalores, autovectores y espacios propios. Gráficamente se visualizan dificultades en la interpretación de los autovalores y en mayor medida de los autovectores y espacios propios.Se observan dificultades para determinar geométricamente si la matriz asociada a la transformación lineales singular o no singular, como así también, la matriz A-ʎI en forma analítica. Estos modos de pensamiento pueden coexistir observándose al igual que investigaciones citadas en este trabajo, un fuerte predominio de los modos analíticos en la resolución de las situaciones planteadas. Se visualiza dificultades mayores para el tránsito al modo Analítico – Estructural. Ello puede ser causado por una falta de conceptualización teórica de los contenidos estudiados. Es necesario tener en cuenta que la modalidad de cursado fué virtual sincrónica en el caso de las clases teóricas y presencial en las clases prácticas. En estas últimas se prepararon actividades tendientes a lograr que los alumnos desarrollen y transiten del modo de pensamiento puramente sintético geométrico a los modos analítico -aritmético a los modos sintético – geométrico y analítico estructural especialmente con actividades utilizando software de geometría dinámica GeoGebra.

6 REFERENCIAS

Bouhjar, K., Andrews-Larson, C., Haider, M., &Zandieh, M. (2018). Examining Students' Procedural and Conceptual Understanding of Eigenvectors and Eigenvalues in the Context of Inquiry-Oriented Instruction. In *Challenges and strategies in teaching linear algebra* (pp. 193-216). Springer, Cham.

Çelik, D. (2015). Investigating students' modes of thinking in linear algebra: the case of linear independence. *International Journal for Mathematics Teaching and Learning*, *16*(1), 2141-2159.

Dogan, H. (2014). Multiple tasks derived from an interactive module: linear transformations and eigenspace. In *Proceedings of 26th anniversary International Conference on Technology in Collegiate Mathematics (ICTCM)* (pp. 20-23).

Dorier, J. L., Robert, A., Robinet, J. y Rogalski, M.. L'algèbrelinéaire: l'obstacle de formalisme à travers diverses recherches de 1987 a 1995. En J.-L. Dorier (Ed), *L'enseignement de l'algèbrelinéaire en questions*(pp. 105-147). Grenoble, Francia: La Pensée Sauvageéditions, Grenoble. 1997.

Hillel, J. Modes of description and the problem of representation in linear algebra. En J. L.

Dorier(Ed.), *On the teaching of linear Algebra* (pp. 191-207). Grenoble, Francia: Kluwer Acedemic Publishers. 2000.

Gol, S. (2012). Dynamic geometric representation of eigenvector. In *Proceedings of the 15th annual conference on research in undergraduate mathematics education* (pp. 53-58).

Pavlopoulou, K. Un problemedécisifpourl'apprentissage de l'algebrelinéaire: la coordination des registres de représentation'. *In Annales de didactique et de Sciences cognitives* (Vol. 5, pp. 67-93). 1993.

Sampieri, H., Fernández, C., & Baptista, L. (2014). Metodología de la Investigación. Sexta edición. Editorial McGRAW-HILL. *México. Recuperado de: http://observatorio. epacartagena. gov. co/wpcontent/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigación-sexta-edicion. compressed. pdf.*

Sierpinska, A. (2000). On some aspects of students' thinking in linear algebra. In *On the teaching of linear algebra* (pp. 209-246). Springer, Dordrecht.

Thomas, M. O., & Stewart, S. (2011). Eigenvalues and eigenvectors: Embodied, symbolic and formal thinking. *Mathematics Education Research Journal*, *23*, 275-296.

Wawro, M., Watson, K., &Zandieh, M. (2018). Student understanding of linear combinations of eigenvectors. *ZDM*, 1-13.

Propuesta de capacitación docente para mejorar las metodologías de enseñanza

Del Prado, Ana María[1]; Gómez, Sofía Gabriela[1];Flores, Carola Victoria[1];JalabertMicaela [1]

(1) Laboratorio de Investigación e Innovación en Educación (LIIE), Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional de Catamarca; anadelprado@tecno.unca.edu.ar;sofiagom@tecno.unca.edu.ar;carolaflores@tecno.unca.edu.ar; mikajalabert@gmail.com

RESUMEN

El presente trabajo se desprende del Proyecto de Investigación: "Metodologías activas de enseñanza y su incidencia en la formación de ingenieros". El mismo tiene como objetivo principal, transformar las prácticas de enseñanza universitaria aplicando metodologías activas de aprendizaje en las carreras de ingeniería en general y, en particular, en las que se dictan en la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas (FTYCA) de la Universidad Nacional de Catamarca (UNCA). Al mismo tiempo, permite abrir una perspectiva de análisis en torno al papel de las tecnologías en la transferencia de conocimientos en ciertos campos profesionales. En esta ponencia, se describe y contextualiza una propuesta a nivel de posgrado, que apunta a desarrollar habilidades y capacidades en los docentes para implementar el método Aprendizaje Invertido (AI) en las prácticas áulicas de la FTYCA. El curso estuvo destinado a docentes de los distintos departamentos académicos, a fin de contribuir con su formación pedagógica-didáctica. Los resultados de las encuestas de satisfacción muestran que el curso cumplió con las expectativas de los docentes en lo que respecta a materiales de estudio, herramientas TIC a la vez que contó con un óptimo nivel de participación de los docentes.

ABSTRACT

This work is part of the Research Project: "Active teaching methodologies and their incidence in the trainingof engineers". Its main objective is to change university teaching practices by applying active learning methodologies in engineering careers in general and, in particular, in those belonging to the Faculty of Technology and Applied Sciences (FTYCA) of the National University of Catamarca (UNCA). At the same time, the project opens a perspective of analysis around the role of technologies in the transference of knowledge in certain professional fields. In this paper, a postgraduate-level proposal is described and contextualized. It aims at developing skills and abilities in teachers so as to enforce Flipped Learning methodology in classroom practices. The course was intended for teachers from the different academic branches of the Faculty, in order to contribute to their pedagogical-didactic training. Results of satisfaction surveys show that the course met teachers' expectations regarding study materials and ICT tools. Besides, it had an optimal level of teachers' participation.

Palabras claves: formación - docentes - metodologías activas - aprendizaje invertido

Keywords: training - teachers - active methodologies- flipped learning

1. INTRODUCCIÓN

La universidad de nuestros días, al igual que la sociedad actual, vive un momento de transformación de su entorno, y por ello mismo, de su misión. Resulta central, entonces, identificar cuáles son los cambios que la propia universidad, como institución de educación superior, debe llevar adelante para cumplir un papel que la sitúe a la altura de los desafíos de la época como una instancia comprometida con la producción y distribución del conocimiento. En

ese sentido, se requiere una metamorfosis significativa que responda a las necesidades de la sociedad actual, sobre todo en el ámbito laboral, implementando diversas modalidades de trabajo, las cuales -conjuntamente con las exigencias sociales y con nuevas formas de relaciones- constituyen verdaderos desafíos. En este contexto, es ineludible el rol central que juegan las tecnologías de la información y la comunicación (TIC): Indudablemente Internet - al irrumpir en la vida de las personas en general y en los entornos educativos en particular con su discurso omnipresente, sus nuevos soportes y narrativas multimediales- está redefiniendo las dinámicas mediante las cuales se accede al conocimiento a través de procesos de significación que no se limitan a un único o predominante tipo o formato, sino a una red de formatos multimediales que interactúan entre sí para (re)producir significados más complejos y resignificar contenidos (Constantino, 2010). Las TIC amplían las aulas, ya que activan nuevos espacios de comunicación, trabajo colaborativo, intercambio de saberes, que antes estaban circunscritas a cuatro paredes, es decir se eliminan los límites temporales y espaciales (del Prado y Lara, 2018).

Sin embargo, la realidad indica que la educación universitaria, a pesar de los avances tecnopedagógicos que ocurrieron durante la pandemia y la virtualización de muchos espacios académicos, adolece aún de la integración de TIC en sus aulas, produciendo en algunas ocasiones un desfase pedagógico y en otras una importante falta de motivación. Existen "distancias" espaciales, temporales, culturales, mediadas por diferentes dispositivos y muchas variantes (Carbone, 2008) (Mena, 2001) (Coiçaud, 2011). De esta forma, conviven nuevas y viejas formas que se utilizan según las características de los usuarios y, en muchos contextos, la tecnología -como herramienta pedagógica- está infrautilizada o no se explota correctamente (Gómez, 2021).

El presente trabajo permite abrir una perspectiva de análisis en torno al papel de las tecnologías en la transferencia de conocimientos en docentes de las carreras de ingeniería de la FTyCA. En el mismo se describe y contextualiza una propuesta de curso de posgrado para implementar el método Aprendizaje Invertido (AI) en las prácticas áulicas. El curso estuvo destinado a docentes de los distintos departamentos académicos de la Facultad a fines de contribuir con su formación pedagógica-didáctica.

Cabe destacar que, los estudiantes de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, por la naturaleza de las carreras que se dictan en la misma, tienen incorporado el uso de la computadora e Internet a sus hábitos de comunicación y estudio. Asimismo, demuestran destrezas en el uso de herramientas y software específicos; ofimática, redes, plataformas educativas como también en el uso de nuevos formatos multimedia y software acorde a sus carreras (herramientas de ingeniería de software asistida por computadora conocidas por su sigla en inglés CASE, AutoCAD, Geogebra entre otros) para complementar sus procesos de aprendizaje y darle significatividad a los mismos. Por ello, resulta imprescindible que el profesor universitario brinde una oferta educativa mejorada, no solo en el contenido de su asignatura, sino también en la metodología de su enseñanza, planteando situaciones que partan de las necesidades de sus alumnos, con objetivos reales y susceptibles de ser alcanzados para formar individuos competentes que puedan adaptarse y autotransformarse ante las condiciones de incertidumbre y de cambio, por supuesto incorporando la tecnología a sus espacios curriculares. Se trata de utilizar las nuevas tecnologías para hacer cosas diferentes, para poner en marcha procesos de aprendizaje y de enseñanza que no serían posibles en ausencia de las TIC. Aquí reside la relevancia de este trabajo para los docentes de la FTyCA de la UNCA: el hecho de conocer nuevas formas de acceder y gestionar el conocimiento, como es la implementación de la metodología Aprendizaje Invertido (AI), los llevaría a conocer las potencialidades que brindan las TIC, lo que consecuentemente redundaría en el mejoramiento de sus propias prácticas pedagógicas.

2. MARCO TEÓRICO

El aprendizaje invertido no es solo otra táctica de enseñanza sino una estrategia de meta aprendizaje que apoya a todas las metodologías de enseñanza. Este método va modificándose a medida que se implementa en diferentes países, culturas, estudiantes, docentes, realidades, tecnologías, por ello va mutando del método original

FlippedLearning, al nuevo método del FlippedLearning 3.0. (Flipped Global Initiative).

El rol docente en un ambiente de aprendizaje invertido se transforma: de expositor y dueño del conocimiento a un docente que incentiva e invita a sus estudiantes a aprender, propiciando un lugar de intercambio de ideas. Así, los estudiantes se vuelven activos e incorporan un ambiente de aprendizaje colaborativo, mejorando los resultados a partir del trabajo conjunto (Rey Valzacchi, 2016). En sí, se trata de un método que busca cambiar la dinámica del aula, con el objeto de trabajar las competencias de nuestros alumnos, cambiar sus hábitos de estudio y mejorar sus aprendizajes. Es un enfoque pedagógico que transforma la dinámica de la instrucción. Se desarrolla un ambiente interactivo donde el profesor guía a los estudiantes mientras desarrollan los conceptos y se involucran en su aprendizaje en el aula. Implica un cambio hacia una cultura de aprendizaje centrada en el estudiante.

Siguiendo a Ziperovich (2018) se destaca que los posicionamientos pedagógicos sirven de fundamento para propiciar subjetividades e intersubjetividades como alternativas que ayudan a desarrollar en los sujetos aprendizajes autónomos, creativos, solidarios y liberadores.

Figura 1: Pilares del aprendizaje invertido. Fuente propia

Mediante esta propuesta de capacitación, se busca modificar la forma en que se enseña y también en cómo aprende el estudiante. En este caso, se capacita a los docentes de la FTyCA aplicando el propio método y permitiendo al docente extrapolar esta experiencia en su cátedra. De esta manera, se busca incrementar su conocimiento sobre nuevas metodologías activas de enseñanza y aprendizaje y a la vez favorecer el aprendizaje de los alumnos transformándolo en un proceso innovador, novedoso, autónomo y creativo.

3. LA EXPERIENCIA

En la FTYCA, como todas las carreras tienen un tinte práctico, se debe formar estudiantes con capacidades que vayan más allá del "saber". Así es necesario "saber hacer", "ser" y "ser con otros". Para lograrlo, se vuelve ineludible no solo modificar la forma de enseñar sino también incluir metodologías de enseñanza activas como el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP), el Aprendizaje Basado en Casos (ABC), entre otros. Por ello, consideramos que el método Aprendizaje Invertido permite trabajar todas las metodologías activas logrando que el estudiante sea el protagonista en el proceso de enseñanza y aprendizaje y el docente adquiera un rol de tutor o guía. Además, ofrece la ventaja de ser flexible y ubicuo, es decir permite al estudiante decidir cuándo y dónde quiere aprender; asimismo, ayuda a los estudiantes que tienen mayores dificultades.

Metodológicamente la propuesta se desarrolló con modalidad virtual, con una duración de 5 (cinco) semanas. Para comenzar, se impartió un encuentro sincrónico mediante videoconferencia. En este primer encuentro se expuso la propuesta didáctica, el método Aprendizaje Invertido y nociones del uso del Aula Virtual. Asimismo, se presentaron las actividades a desarrollar en la semana que incluían la concreción de actividades individuales y grupales, tanto sincrónicas como asincrónicas, en el Campus Virtual de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la UNCA.

Asimismo, se generó un espacio para dar la bienvenida al curso, la introducción, la elección del grupo de trabajo - que se mantuvo durante todo el recorrido - y una encuesta inicial. Además, se proporcionaron materiales de estudio, conformados por bibliografía de autores nacionales y extranjeros y archivos audiovisuales de diferentes tipologías. Se propició el trabajo autónomo, colaborativo y cooperativo.

3.1 Participantes del curso de posgrado

El curso dio inicio con 14 participantes, los que en su totalidad fueron docentes de las diferentes carreras de ingeniería y de la licenciatura en Geología de la FTYCA. Se trató de un grupo heterogéneo tanto en sus franjas etáreas como en su formación tecnopedagógica previa. Para llevar a cabo las actividades, conformaron grupos multidisciplinares lo que favoreció la interacción

y el trabajo colaborativo, desarrollando actividades de manera asincrónica y con clases en manera sincrónica a través de la herramienta Meet, las cuales fueron grabadas para que los participantes accedan en cualquier momento y lugar.

3.2 Característica del curso

Este curso brindó conocimientos teórico-prácticos sobre el Método Aprendizaje Invertido, generando una propuesta innovadora que los docentes/cursantes pueden extrapolar a sus prácticas áulicas, mediante el asesoramiento sobre herramientas, metodologías y recursos adecuados para implementarlos. Lo novedoso de la propuesta consistió en que se trató de una capacitación sobre Aprendizaje Invertido aplicando la metodología del Aprendizaje Invertido.

La creación de este espacio de capacitación permitió, no solo adquirir conocimiento del método, sino reflexionar entre pares y lograr la implementación en la asignatura a cargo del docente

Durante 5 (cinco) semanas, los cursantes contaron con un encuentro sincrónico mediante videoconferencia de 3 horas por semana. En este espacio virtual se pusieron en práctica propuestas didácticas para la concreción de actividades individuales y grupales, basadas en los materiales de estudio previamente asignados, conformados por bibliografía de autores nacionales y extranjeros y archivos audiovisuales varios.

Figura 2: Aula virtual del Curso Aprendizaje Invertido

3.3 Propuesta pedagógica del curso

El Método Aprendizaje Invertido, distingue tres tipos de experiencias de aprendizaje: Conocimiento, Reflexión y Acción. Dentro de la plataforma educativa, se propusieron actividades orientadas a conocer, comprender y analizar en profundidad el material presentado y recursos interactivos destinados a adquirir conocimiento sobre el método aprendizaje invertido (conocimiento y reflexión). Fuera del aula virtual, se estimuló la acción del docente-cursante mediante prácticas situadas en su materia, a partir del material proporcionado (acción). Cada una de las actividades que se realizaron estuvo relacionada con una o más de estas experiencias de aprendizaje. Todas y cada una de ellas fueron importantes para aprender e incorporar nuevas prácticas al desempeño docente.

3.4 Encuesta sobre las expectativas del curso

Como instancia inicial previa al cursado, se solicitó a los docentes que completen una encuesta sobre las expectativas que les generaba el curso de posgrado, y lo expresado por los participantes se refleja en la nube de palabra de la figura 3.

Entre las preguntas se planteó qué habilidades pretendían adquirir a través de la propuesta pedagógica, si consideraban que el método podía influir en el proceso de aprendizaje de los alumnos. Otras preguntas estaban enfocadas a sus materias para tener conocimiento que herramientas o estrategias aplican en sus cátedras, si son materias de dictado teórico o eminentemente prácticas.

Entre las respuestas se pudo rescatar que los docentes buscan en su mayoría ampliar sus conocimientos sobre las herramientas y sobre las metodologías para diseñar una propuesta de aprendizaje invertido que pueda ser aplicado tanto en clases presenciales como virtuales, con la finalidad de motivar, incrementar la participación y captar la atención de los estudiantes.

Figura 3: Emociones y sentimientos sobre la propuesta

3.5 Diseño e implementación de una clase invertida con metodología activa

Como actividad final y con el objeto de reconstruir los conocimientos aprehendidos se solicitó el diseño de modo creativo y crítico, de dispositivos pedagógicos en modelo aprendizaje invertido que permitan la mejora de las prácticas pedagógicas.

La propuesta solicitada para aprobar el curso apuntaba a dar testimonio de la autenticidad de un cambio de mirada sobre la clase. Esto no exige acciones didácticas grandilocuentes, sino requiere comprometerse con una revisión honesta, crítica y genuina de lo actuado en nuestras prácticas docentes y decidirse a la aventura de su reinvención. La práctica pedagógica propuesta constaba de dos instancias de trabajo: La primera refirió a la identificación de contenidos o saberes o capacidades que a los estudiantes les resulta complejo de aprender o que al docente le resulta difícil de enseñar. La segunda correspondió al nodo de la problemática sobre la que se centra esta formación y es la de diseñar dispositivos pedagógicos a través del modelo de Aprendizaje Invertido.

3.6 Encuesta de satisfacción del curso

A continuación se presentan algunas respuestas de la encuesta de satisfacción, que son de utilidad para considerar si el curso cumplió con los materiales de estudio necesarios, con las herramientas adecuadas y el nivel de participación de los docentes (Fig. 4).

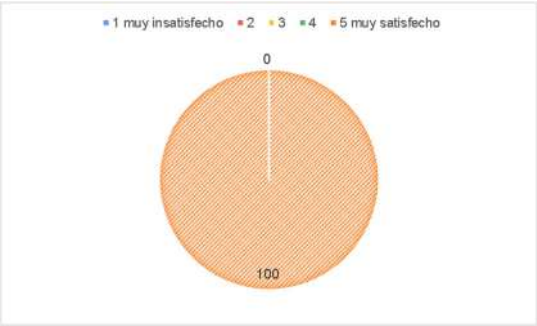


Figura 4: Nivel de satisfacción con los contenidos del curso

El 100% de los docentes consideró que los contenidos del curso fueron adecuados para el aprendizaje. Los contenidos impartidos fueron: Introducción al aprendizaje invertido, entorno personal de aprendizaje, curaduría de contenidos, herramientas para aplicar el método y metodologías de aprendizaje activo.

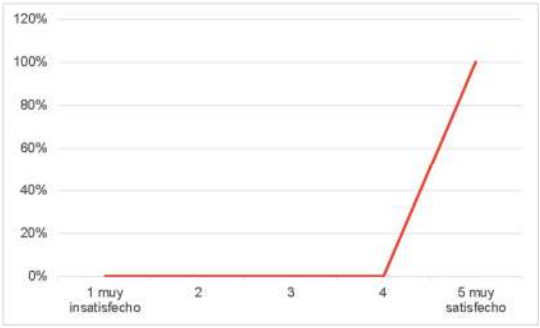


Figura 5: Los materiales (PDF, videos, contenidos interactivos) del curso son suficientes

Los materiales alojados en el aula virtual se presentaron en formatos diversos (Fig. 5) y se organizaron en secciones o bloques. En la sección inicial del Aula Virtual se podía encontrar el programa y el calendario, tanto de clases sincrónicas como de las entregas de actividades, lo que resultaba útil para organizarse a lo largo del dictado.

El primer bloque, en el que se abordaron los temas *Aprendizaje invertido, rol del docente y curaduría de contenidos*, estuvo conformado por una presentación del bloque con la herramienta Genially que, además de introducir al docente en la temática, le permitió descargar materiales y videos, una infografía con las actividades antes de la siguiente clase sincrónica. Además se proporcionaron guías de aprendizaje que habilitaban dos recorridos posibles: la lectura del material o el visionado de los videos, uno sobre introducción al aprendizaje invertido y el otro referido a entornos personalizados de aprendizaje y curaduría.

En el segundo bloque, desde la teoría se propuso el tema *Herramientas para aplicar el método AI*. Para ello, se elaboró una presentación en Genially que permitió a los docentes-cursantes descargar materiales y videos, más una infografía con las actividades de la siguiente clase.

El tercer bloque introdujo a los cursantes en la temática *Metodologías de enseñanza activas*, Este bloque estaba conformado por un Genially que le permitió al docente-cursante descargar

materiales y videos, una infografía con las actividades para la siguiente clase y una Plantilla para invertir o *flipear* un tema de su cátedra o bien, un tema general.

Finalmente, el cuarto bloque apuntaba al diseño de una clase al revés. Al ser el último bloque, también se especificaron las pautas del coloquio y la rúbrica para coevaluar a su par. Por último, se brindó una encuesta de satisfacción sobre el cursado.

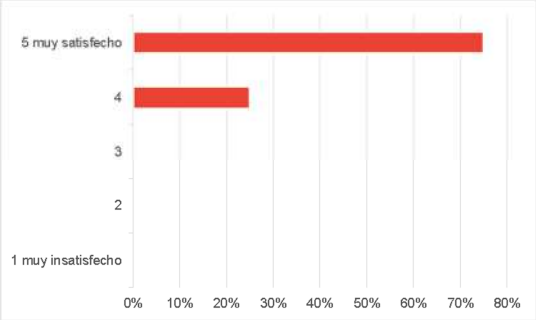


Figura 6: Herramientas web (Powtoon, PlayPosit, SmRecorder, Knovio) amigables y de utilidad

Un 75% de los docentes consideró que las herramientas de la Web como Powtoon, PlayPosit, SmRecorder y Knovio -que son herramientas necesarias para transformar los contenidos en píldoras formativas- fueron amigables y de utilidad y un 25% estuvo satisfecho con dichas herramientas (ver Fig. 6).

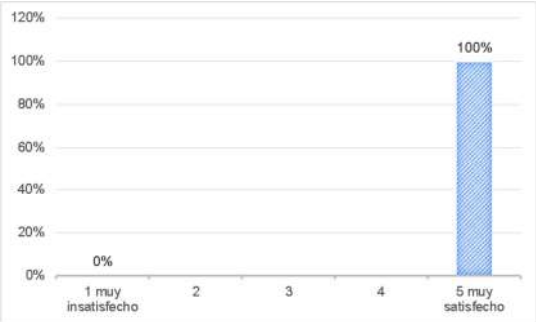


Figura 7: Realiza las actividades individuales previo a la clase sincrónica

Durante el cursado, se brindaron a los docentes actividades individuales para desarrollar antes de la clase sincrónica. Algunas de ellas fueron: compartir en el Padlet provisto en el aula virtual un comentario de lo que entienden por EPA y cómo configuran su propio EPA. Otra actividad, era diseñar a partir de una plantilla el tema a flippear, especificando las diferentes herramientas usadas e implementarlo en su aula virtual.

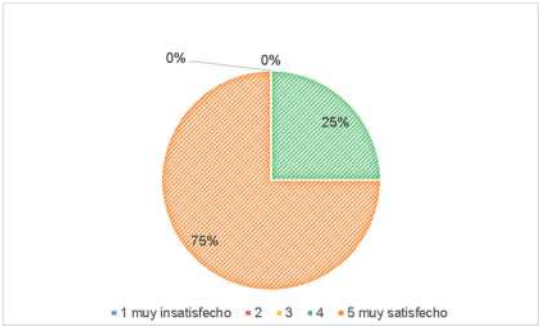


Figura 8: Las docentes sirvieron de guía para la concreción y el seguimiento de las actividades propuestas

Se indagó también acerca de las docentes responsables del curso y el 75 % responde que sirvieron de guía para concretar y cumplimentar las actividades, mientras que un 25% está satisfecho con el rol de las docentes durante el cursado (Fig. 8).

Algunos docentes del curso, manifestaron que imparten sus prácticas en 1° año de las Ingenierías, teniendo éstas carreras un gran volumen de alumnos. Por ello, estas herramientas facilitan la llegada hacia el estudiante universitario desde otra perspectiva, sacándolo de lo habitual que es leer un texto o escuchar y apuntar una clase teórica. Por otra parte, resulta beneficioso saber utilizar estas herramientas, ya que nos permiten adaptar el contenido que se da en la cátedra desde la mirada que se pretende dar, evitando buscar en la web videos ya armados, y a veces tener que ir adaptándolos sobre los temas a trabajar, debido a que algunos presentan baja o alta complejidad, o simplemente es una pequeña parte de ese tema lo que se necesita.

4. CONCLUSIONES

En la sociedad del conocimiento y en plena era de globalización, se requiere formación de capital humano de carácter universitario para lograr mayores niveles de competitividad entendiendo que, la formación superior tiene un correlato muy

importante en términos de movilidad social, inclusión y equidad. Por otra parte, la universidad, más allá de representar una fuente de conocimiento, tiende a vincularse con el medio donde está establecido, favoreciendo así el desarrollo integral de la sociedad.

En realidad, para poder desenvolverse en sociedad y estar en "sintonía" con los estudiantes es necesario desarrollar ciertas competencias. Si el docente tiene las competencias digitales necesarias, puede transmitirlas a sus estudiantes. Por ejemplo, puede ser competente en la búsqueda y selección de información, en la creación de contenidos digitales, participación y colaboración en línea generando así experiencias de aprendizaje significativas. Al respecto Raúl Santiago expresa: "La clase invertida puede adaptarse a cualquier nivel de competencia digital del profesor y para ello hay muchísimas herramientas".

Implementar cambios en la metodología de enseñanza, no solo implica que el docente se aventure a un nuevo reto, sino también que los estudiantes se enfrenten a una nueva forma de aprender. Puede suceder que a algunos les resulte motivadora, interesante, novedosa, mientras que otros estudiantes no serán tan receptivos de este cambio de roles y otros estarán expectantes. Pero este es un proceso gradual que requiere de un cambio de mentalidad tanto de docentes como estudiantes. Hay que animarse al desafío y pensar que siempre se puede mejorar la práctica docente y por ello hay que saber escuchar a los estudiantes, hacer encuestas de satisfacción. Esto nos permite conocer sus preferencias de aprendizaje.

Se considera que todos estos son desafíos que pueden convertirse en potencialidades si los docentes se actualizan en el uso de TIC y, a la vez, se asumen orientaciones que ayuden a los estudiantes a enfrentarse adecuadamente a las distintas demandas. Todo esto sin sacrificar su conocimiento experiencial, aprovechando sus posibilidades de aprender, de construir, de transformar y de comunicar el conocimiento, generando diálogos, perspectivas y puntos de vista diversos en el complejo entramado de la educación superior.

5. REFERENCIAS

Carbone, G. (2008). *Sondeos y reflexiones, currículum y participación cooperativa en el campus virtual.* I Foro Internacional de Educación Superior en Entornos Virtuales (págs. 148-156). Editorial Bernal.

Coiçaud, S. (2011). Escenarios de innovación en la gestión de programas de educación universitaria a distancia. *Revista RUEDA de Red Universitaria de Educación a Distancia: Entre mitos, urgencias y desafíos*, 8(8). Obtenido de http://rueda.edu.ar/wp-content/uploads/2011/10/08_REVISTA.pdf

Constantino, G. (2010). *El Análisis del Discurso Didáctico en entornos presenciales y virtuales: claves conceptuales para la construcción compartida del conocimiento y la enseñanza multimedia*. La renovación de la palabra en el bicentenario de la Argentina, 365-371.

Del Prado, A. M., y Lara, L. (2018). Enseñar con aula invertida, una alternativa a la enseñanza tradicional. Nuevos horizontes de la educación virtual: repensando sus prácticas, sus marcos teóricos y normativos, en contexto.*Conferencia llevada a cabo en las V Jornadas del NOA y III Jornadas Nacionales de Educación a Distancia y Tecnologías Educativas. Catamarca*, Argentina.

Gómez, S. G. (2021). *Lectura en pantallas: lógicas de uso en la aproximación al conocimiento. El caso de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas*. Tesis de maestría.

Mena, M. (2001). *Los materiales en Educación a Distancia.* Programa de Formación Integral en Educación a Distancia, 50-62.

Ponce, S. L., Marichal, A., Martínez, G., Soldini, M., y Ponce, R. D. (2017). Implementación de la clase invertida en el aula universitaria: posibilidades para la obtención de aprendizajes no superficiales. *TE&ET*. Conferencia llevada a cabo en el XII Congreso de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología, La Matanza, Argentina.

Rey Valzacchi, J. (2016). *Invertir el aula para lograr un aprendizaje significativo. Aprender para educar con tecnología.* Recuperado de https://es.calameo.com/read/0019480194a3b98d94ac7.

Percepciones de estudiantes universitarios de la enseñanza B-Learning en el curso de ingreso, en tiempos de pospandemia

Ger, Carolina[1]; Cejas, Claudia[1]; Nabarro, Sylvia[1]

(1) Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. carolinager@hotmail; claudiacejas_1@hotmail.com; sylvianabarro@yahoo.com.ar

RESUMEN

En tiempos de pandemia COVID19, la educación se vio afectada, implementándose, para la enseñanza, clases virtuales y plataformas educativas. En pospandemia, se plantea retomar la enseñanza presencial sin dejar de lado la utilización de plataformas virtuales para complementar la presencialidad mediante instancias de consultas, evaluaciones y ejercitación. En este trabajo se presentan resultados deevaluaciones empleando rúbricas sobre el proceso de enseñanza aplicado en el curso de ingreso de las carreras de grado y pregrado de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Santiago del Estero. A través de este se propone generar un espacio de reflexión, crítica y procesamiento de la información producida por el estudiante en este modo de enseñanza.

Palabras claves: rúbricas – evaluación –pospandemia

ABSTRACT

During the COVID-19 pandemic times, education was greatly affected and the teaching via virtual lessons and educational platforms started being implemented. In post-pandemic times, retaking in-person teaching without setting aside the use of virtual platforms in the form of tutoring, evaluation, and practice is posed. This work introduces the results of tests employing rubrics on the teaching process applied in the entrance course to the various undergraduate programs at the Faculty of Forest Science of the National University of Santiago del Estero. It is intended to generate a space for the reflection, criticism and processing of the information produced by the student in this teaching mode.

Keywords: rubrics – evaluation – post-pandemic

1. INTRODUCCIÓN

"Una rúbrica es un registro evaluativo que posee ciertos criterios o dimensiones a evaluar y lo hace siguiendo unos niveles o graduaciones de calidad y tipificando los estándares de desempeño"(Cano, 2015). La evaluación mediante rúbrica "Es el proceso mediante el cual se recopilan evidencias y se realiza una aproximación del resultado basado en las evidencias teniendo en cuenta criterios preestablecidos, para dar finalmente una retroinformación que busque mejorar la idoneidad. Facilita una evaluación formativa con retroalimentación, atendiendo las capacidades y habilidades en el profesor con el objetivo de obtener un proceso de enseñanza y aprendizaje efectivo en el estudiante" (Alsina Masmitjà, 2013).

La rúbrica constituye un importante sistema de evaluación de cualquier tipo de tarea, tanto profesional, como de la vida real. "Durante todo el proceso de aprendizaje, permite anticipar los criterios que se administrarán para evaluar el progreso del estudiante en forma continua y formativa. De esta manera, facilita un feedback al acortar el tiempo de devolución de la evaluación, manteniendo resultados cuantitativos y cualitativos previamente conocidos"(Alsina Masmitjà, 2013).

La rúbrica permite indagar profundamente sobre cómo enseñar para que sea factible evaluar mediante la misma. Por eso, la rúbrica puede llegar a ser un potente motor de cambio, estudio que se pretende abordar desde este proyecto; no se reduce solamente al seguimiento y evaluación de los aprendizajes sino también al ejercicio de

autoevaluación permanente en consonancia con las competencias a desarrollar.

En el proceso de retroalimentación se implementaron rubricas para evaluar los métodos de enseñanza aplicados, las que fueron presentadas al inicio del curso de ingreso, como modo de iniciar la dinámica de evaluación.

En el ámbito académico, el proceso de retroalimentación se ha convertido en una herramienta fundamental para mejorar la calidad de la enseñanza y promover el aprendizaje significativo de los estudiantes. Siguiendo las recomendaciones de reconocidos expertos en pedagogía como Tobón (2010), se implementaron estrategias efectivas de retroalimentación, entre las cuales se incluyen el uso de rubricas.

La implementación de las rubricas en la evaluación de los métodos de enseñanza aplicados también resultó beneficiosa para los docentes. Al contar con criterios objetivos y compartidos de evaluación, los profesores pudieron analizar de manera más precisa y coherente los resultados de sus prácticas pedagógicas. Esto les permitió identificar fortalezas y áreas de mejora, ajustar sus estrategias de enseñanza y adaptar su estilo de instrucción para satisfacer las necesidades específicas de los estudiantes.

Además, las rubricas facilitaron la comunicación entre profesores y estudiantes al ofrecer un lenguaje común para discutir y reflexionar sobre el progreso académico. A través de la retroalimentación basada en rubricas, los estudiantes recibieron comentarios específicos y constructivos que les permitieron comprender sus fortalezas y áreas de mejora, así como desarrollar habilidades metacognitivas para autorregular su aprendizaje.

En resumen, la implementación de rubricas en el proceso de retroalimentación del curso de ingreso ha demostrado ser una estrategia eficaz para mejorar la calidad de la enseñanza y promover un aprendizaje significativo. Estas herramientas de evaluación brindan a estudiantes y profesores una guía clara, fomentan la autorregulación del aprendizaje y facilitan la comunicación efectiva, promoviendo así un entorno educativo enriquecedor y centrado en el desarrollo integral de los estudiantes.

El ingreso a las carreras universitarias genera en el sujeto diversos dificultades y tensiones. Una estrategia para acercar al estudiante a esta nueva realidad es el saber que su opinión importa y que el ingreso tiene un significado de formación en la vida universitaria. De la misma manera, es un instrumento de diagnóstico para los docentes, que permite orientar los pasos a seguir en este proceso educativo, mediante el cual se recopilan evidencias y se realiza un juicio o dictamen de la realidad, teniendo en cuenta criterios preestablecidos, para dar finalmente una retroinformación que busque mejorar la idoneidad.

“En este proceso se presentan cuestiones tales como: ¿Qué evaluar?¿Para qué evaluar? ¿Con quécriterios?¿Con qué pruebas?¿En qué momentos evaluar?¿Con qué estrategias?” (Tobon et al, 2010).

2. DESARROLLO

“Los métodos y requisitos de la evaluación probablemente tienen másinfluencia en cómo y qué aprenden los estudiantes que cualquier otro factorindividual. Esta influencia es posible que tenga mayor importancia que elimpacto de los materiales de enseñanza” (Boud, 1985).

El presente trabajo permite dar continuidad al proceso deplanificación y puesta en marchade sistemas de evaluación del curso de nivelación para el ingreso a las carreras de grado y pregrado de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Santiago del Estero. Para ello se establecieron criterios de evaluación y niveles de logro establecidos en la construcción de las rúbricas, y mediante las cuales se pretende que los estudiantes evalúen los métodos de enseñanza implementados y los materiales curriculares utilizados en el curso de ingreso del año 2023 mediante la modalidad B-Learning.

Determinar la percepción de los estudiantes tiene retos personales y profesionales en el campo tanto de la enseñanza como del aprendizaje. Permite al docente valorar la idoneidad de LogrosEsperados. Crear un proyecto que adapta las estrategias planificando los recursos disponibles y también medir las debilidades y fortalezas que presenta el proyecto.

Un modo de evaluar la implementación de una parte del modelo pedagógico aplicado siguiendo un análisis retrospectivo que le permite manejar de forma estratégica las situaciones de

incertidumbre y las dificultades, facilita al docente tener claridad acerca de sus logros y los aspectos a mejorar, de esta manera se involucra en un proceso de mejoramiento continuo.

En consecuencia, contar con la evaluación de los estudiantes les permite: desarrollar la capacidad de realizar juicios, aprender sobre la calidad de una tarea a través de la práctica, involucrar a losestudiantes, poner de manifiesto la responsabilidad del sujeto en su aprendizaje, por lo que desde el inicio interiorizan los criterios y resultados a alcanzar y mejora lacalidad de su trabajo antes de ser evaluado por el tutor.

Con base en los criterios de evaluación y los niveles de logro fijados para el desarrollo de las rúbricas, se busca que los alumnos realicen una valoración de las estrategias de enseñanza aplicadas y los recursos educativos utilizados en el programa de ingreso correspondienteal año 2023.

El diseño, implementación y desarrollo de esta propuesta implica una unión entre el trabajo presencial y el trabajo virtual (desarrollado en pandemia). Se elaboraron una serie de actividades de autoevaluación en la plataforma virtual, las cuales se habilitabangradualmente a medida que se avanzaba en las diferentes unidades del material teórico-práctico. El propósito principal de estas actividades es permitir a cada estudiante llevar a cabo un seguimiento personalizado y una evaluación individual de su desempeño.

Con el objetivo de realizar una evaluación integral del curso de ingreso, se diseñó una herramienta que abarcara todos los aspectos del trabajo realizado. Para ello, se elaboró una rúbrica que se aplicaría a los estudiantes una vez finalizado el cursado, teniendo en cuenta tanto el avance en el material teórico-práctico, las clases desarrolladas y el cumplimiento de los plazos establecidos para las actividades de autoevaluación. La mismafuerespondida por los estudiantes después de rendir la evaluación de ingreso, en la cual participaron110 estudiantes.

Al elaborar las rúbricas, se consideraron criterios de evaluación que abarcaran todas las acciones realizadas, incluyendo los enfoques pedagógicos empleados y las herramientas didácticas utilizadas, con el objetivo de alinearse con el nuevo paradigma educativo centrado en el estudiante y en el desarrollo de competencias. Se buscó que estos criterios reflejaran de manera integral todas las dimensiones del aprendizaje y del proceso educativo.

Las competencias por evaluar (tabla 1) fueron:

- Presentación de la cartilla del Ingreso en la Asignatura Matemática.
- Desarrollo de clases de las profesoras.
- Cantidad horaria destinada al taller de Ingreso.
- Actividades de la plataforma.
- Videos subidos para complementar las clases presenciales.

En la tabla 1 se observa la rúbrica utilizada, describiendo los criterios de evaluación y los indicadores por nivel de dominio, ponderación y puntaje.

Tabla 1. Rúbricas para evaluación de la enseñanza mediante la metodología utilizada.

Indicador de logro / Criterios	Muy Bueno	Bueno	Regular
Presentación de la cartilla del Ingreso en la Asignatura Matemática: Tener en cuenta la organización, la secuencia y claridad de los contenidos de la cartilla.	Lenguaje coloquial claro y sencillo. Abordaje de lenguaje simbólico con definiciones y ejemplos secuenciados gradualmente. Actividades de aplicación y fijación muy adecuados	Lenguaje coloquial claro y sencillo. Abordaje de lenguaje simbólico con definiciones y ejemplos secuenciados gradualmente. Actividades de aplicación y fijación a mejorar	Lenguaje coloquial claro y sencillo. Abordaje de lenguaje simbólico con definiciones y ejemplos que necesitan más claridad.
Desarrollo de clases de las profesoras**:** Tener en cuenta puntualidad, organización y	-Inicio puntual de las clases. -Desarrollo detallado de los temas con lenguaje y ejemplos claros. -Los temas propuestos en la	-Inicio puntual de las clases. -Desarrollo detallado de los temas con lenguaje y ejemplos	-Inicio no siempre puntual de las clases. - -Desarrollo detallado de los temas con lenguaje y

claridad en el desarrollo de los contenidos.	cartilla se desarrollaron en su totalidad. -Respuestas claras a cada inquietud de los alumnos.	claros. -Los temas propuestos en la cartilla no se desarrollaron en su totalidad. -Respuestas claras a cada inquietud de los alumnos	ejemplos claros. -Algunos planteos sin respuestas a las inquietudes de los alumnos
Cantidad horaria destinada al taller de Ingreso: Valorar la cantidad de horas semanales destinada a esta asignatura durante este mes.	La cantidad de horas semanales es muy suficiente.	La cantidad de horas semanales es poco suficiente.	La cantidad de horas semanales es escasa
Actividades de la plataforma: claridad de los enunciados, acorde a los contenidos desarrollados y simples de responder.	Uso correcto del lenguaje coloquial y simbólico en los enunciados de las actividades. Ejercicios acordes al nivel de complejidad empleados en la guía.	Uso correcto del lenguaje coloquial y simbólico en los enunciados de las actividades. Ejercicios diferentes al nivel de complejidad empleados en la guía	Lenguaje coloquial y simbólico no tan claros en los enunciados de las actividades. Ejercicios diferentes al nivel de complejidad empleados en la guía
Videos subidos para complementar las clases presenciales: Calidad en la información y comprensión de los videos.	Comprensión suficiente en la información de los videos. Complemento a las clases presenciales.	Comprensión con alguna información de los videos. Escaso complemento a las clases presenciales.	Comprensión insuficiente en la información de los videos. No complementa las clases presenciales.

2.1 Resultados Digitalizados

En la tabla 2, se exponen los resultados obtenidos digitalmente, al procesar las respuestas de los estudiantes. A simple vista, se puede observar que las respuestas fueron mayoritariamente favorables en relación con los diferentes criterios evaluados.

Tabla 2. Resultados cuantitativos de los estudiantes.

Indicador de logro Criterios	Muy Bueno	Bueno	Regular
Presentación de la cartilla	58	45	7
Desarrollodeclasesde las profesoras	56	46	8
Cantidad de horas de clases	94	16	0
Actividades de la plataforma	51	48	5
Videos subidos a la plataforma	58	36	8

2.1.1 Análisis de cada criterio

Los estudiantes expresaron su conformidad con la presentación de la cartilla del Ingreso en la Asignatura Matemática,su organización y la secuencia y claridad de los contenidos de esta, afirmando que el lenguaje coloquial era claro y sencillo, el abordaje del lenguaje simbólico,lasdefiniciones y ejemplos fueron secuenciados gradualmente y las actividades de aplicación y fijación eran adecuadas. Muy pocos expresaron disconformidad (7 estudiantes) aclarando que a su parecer les faltaba más ejercitación (Figura 1)

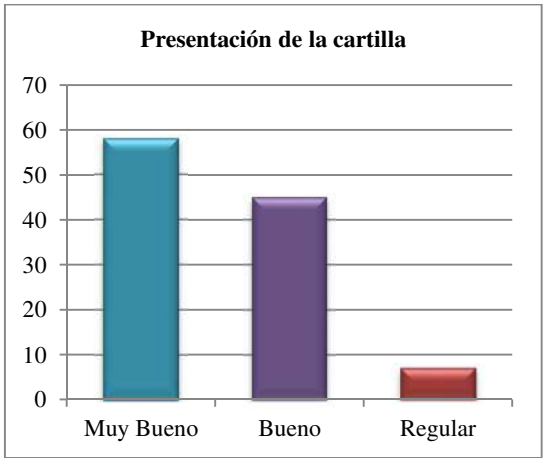


Figura 1. Resultados obtenidos de la digitalización de respuestas del criterio Presentación de la cartilla.

La respuesta de los estudiantes con respecto al desarrollode clases de las profesoras en su mayoría manifestó la puntualidad, buena organización y claridad en el desarrollo de los contenidos con lenguaje y ejemplos claros, ejecutados la mayoría de los temas propuestos, brindando respuestas claras a cada inquietud de los alumnos (Figura 2).

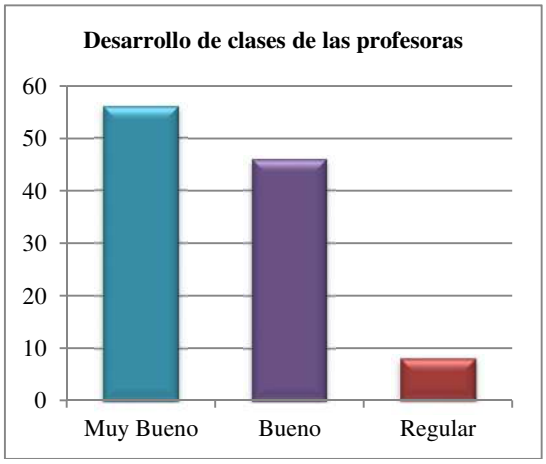


Figura 2. Resultados obtenidos de la digitalización de respuestas del criterio Desarrollode clasesde las profesoras.

Los estudiantes demostraron estar muy conformes con la cantidad de horas dictadas semanalmente en el ingreso, en el área de matemática (Figura 3)

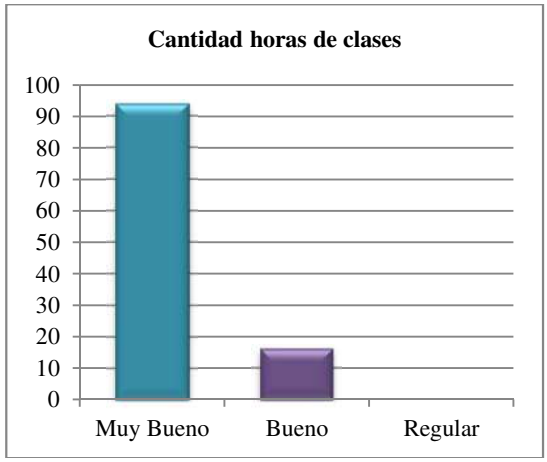


Figura 3. Resultados obtenidos de la digitalización de respuestas del criterio Cantidad de horas de clases.

Con relación a las actividades de la plataforma, afirmaron claridad de los enunciados, acorde a los contenidos desarrollados y simples de responder, los ejercicios estaban acordes al nivel de complejidad empleados en la guía, definiendo un uso correcto del lenguaje coloquial y simbólico en los enunciados de las actividades (Figura 4).

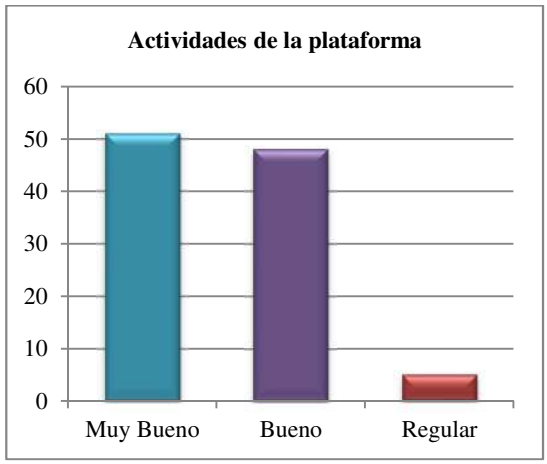


Figura 4. Resultados obtenidos de la digitalización de respuestas del criterio Actividades de la plataforma.

Los videos subidos en la plataforma, que fueron videos en los cuales se refuerzan los temas desarrollados en clases, tuvieron buena aceptación en quienes los vieron. Les ayudaba a comprender o reforzar temas vistos en clases debido a la buena calidad en la información y comprensión de los videos (Figura 5).

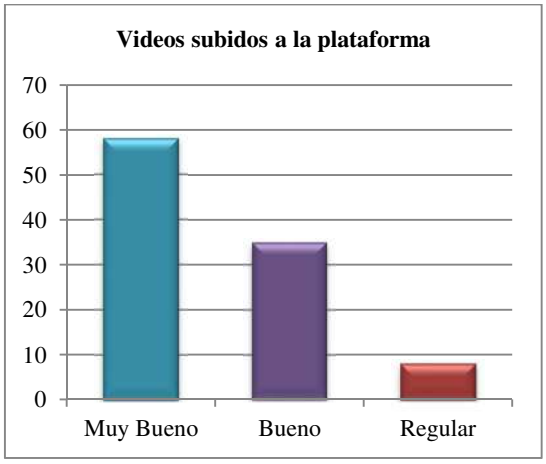


Figura 5. Resultados obtenidos de la digitalización de respuestas del criterio Videos subidos a la plataforma.

3. CONCLUSIONES

En este trabajo se describieronlas experiencias que promueven el uso pedagógico de las TIC y las clases presenciales en pospandemia, en alumnos de ingreso de carreras de la Facultad de Ciencias Forestales y se analizaron algunas reflexiones y percepciones por parte de los estudiantes.

El uso de la plataforma virtual partiendo del curso de ingreso, les permite un acercamiento y formación de hábitos en la familiarización de esta, que favorece el dictado de todas las asignaturas de la carrera. Un aspecto importante para mencionar es que los estudiantes disponen del material teórico – práctico,actividades y videos complementarios de los temas desarrollados del curso de ingreso en la plataforma, aspecto muy favorable para un mejor rendimiento académico. El uso de rubricas de evaluación se implementaron como instrumento en el proceso de la enseñanza presencial y el uso de plataforma, promoviendo la dinámica con la aplicación de la enseñanza B-Learning.

En el primer año de pandemia, 2020, se pudo advertir que una de las grandes desventajas de nuestros estudiantes era la falta de conectividad y hábito con su uso. El olvido permanente de usuario y clave era evidencia de ello. También el conocimiento de la plataforma, su exploración, la realización de actividades, fueron evidencia de las demoras manifiestas de quienes recién se iniciaban en estos modos de interacción. En este estudio realizado pospandemia, debido a la virtualidad procesada y vivida en los institutos escolares, se pudo observar la familiarización con las plataformas virtuales, manifestándose a través de: menor olvido de usuario y clave, más utilización de la plataforma sin la necesidad de conocerla, mejor realización de tareas mediante la misma, se observó una virtualización más conocida e intuitiva.

A través del análisis propuesto mediante las rúbricas se pudo observar quelos estudiantes manifestaron su satisfacción con la presentación de la guía de Ingreso en la asignatura de Matemáticas, apreciaron la organización de la guía, así como la secuencia y claridad de los contenidos en ella. Se resalta la claridad y sencillez del lenguaje utilizado, así como el enfoque gradual en el uso del lenguaje simbólico, las definiciones y los ejemplos. Además, las actividades de aplicación y consolidación fueran apropiadas. La opinión sobre la forma en que los profesores llevan a cabo las clases, en su mayoría refleja la apreciación de la puntualidad, la buena organización y la claridad en la presentación de los contenidos, utilizando un lenguaje claro y ejemplos adecuados. Así mismo, expresaron un alto grado de satisfacción con respecto a la carga horaria semanal.

En relación con las actividades ofrecidas en la plataforma, los estudiantes señalaron la presencia de enunciados claros y coherentes con los contenidos desarrollados, lo cual facilitó su comprensión y respuesta. Además, se destacó la correspondencia entre la complejidad de los ejercicios y el nivel de dificultad establecido en la guía, lo cual contribuyó a un uso adecuado tanto del lenguaje coloquial como del lenguaje simbólico en los enunciados de las actividades.Los videos alojados en la misma, diseñados como herramientas de refuerzo de los temas abordados durante las clases, fueron bien recibidos por aquellos que los visualizaron. Estos videos resultaron útiles para mejorar la comprensión y consolidación de los contenidos discutidos en las clases, gracias a su alta calidad informativa y capacidad para expresar los conceptos facilitaron el conocimiento de manera efectiva.

La calidad de la enseñanza virtual depende en gran medida de la actualización de losprofesores en competencias digitales y de su capacitación entecnologías de la información y comunicación (TIC). Es fundamental que los docentes se familiaricen con las estrategias y recursos

pedagógicos virtuales para poder ofrecer una educación de calidad en este entorno (Maggio, 2022).

El mantener a los estudiantes motivados en el aprendizaje virtual de las matemáticas representa un desafío para los profesores. En este sentido, Beltrán et al. (2020) proponen diversas estrategias para abordar esta situación. Estas estrategias incluyen la transmisión de entusiasmo por parte de los profesores al enseñar matemáticas, la relevancia de los recursos pedagógicos utilizados, la planificación y organización cuidadosa de las clases, el establecimiento de expectativas adecuadas en cuanto al nivel de dificultad, la aplicación de diversas técnicas y metodologías de enseñanza, la utilización de ejemplos y aplicaciones reales y concretas de la matemática, la incorporación de presentaciones multimedia para estimular el interés de los estudiantes, y brindar comentarios constructivos sobre el desempeño de los estudiantes, entre otras.

Estas estrategias de enseñanza resultan indispensables para fomentar la participación activa de los estudiantes en el entorno educativo virtual.

Se puede concluir que en este período de postpandemia, permitió utilizarlasTICs y Plataformas virtuales para diseñar y poner en práctica un modelo pedagógico, donde el estudiante presenta un rol activo desarrollando actividades con acompañamiento del docente, utilizando las plataformas virtuales como apoyo al conocimiento logrado en las clases presenciales, descubriendo las rúbricas como un modelo evaluativo que se utilizará constantemente en el desarrollo de las clases de las asignaturas del área de matemática, para ir optimizando su capacidad de comprensión y conociendo con anterioridad los criteriosde acreditación, permitiendo que su aprendizaje se centre en los mismos.

Desde este punto de vista se aborda la evaluación no solo como acreditación sino desde una perspectiva formativa que facilita, orienta y ofrece retroalimentación al estudiante sobre cualquier actividad de aprendizaje que el profesor considere que debe tener información para mejorar.

4. REFERENCIAS

Alsina Masmitjà, J. (2013).*Rúbricas para la evaluación de competencias.* Ediciones OCTAEDRO. ISBN: 978-84-9921-476-4

Beltrán, G.; Amaiquema, F. y López, F. (2020). *La motivación en la enseñanza en línea.*Recuperado el 10 de mayo de 2023 http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext &pid=S1990-86442020000400316

Boud, D. (1985). *Problem-basedlearning in Educationfortheprofessions.*Sydney:HigherEducationResearch and DevelopmentSocietyof Australia.

Cano, E. (2015). *Las rúbricas como instrumento de evaluación de competencias en educación superior: ¿uso o abuso?* Vol. 19, Nº 2 ISSN 1138-414X (edición papel) ISSN 1989-639X (edición electrónica)

Maggio, M. (2022). *Hay que cambiar el corazón de la propuesta educativa*. Redacción. Periodismo Humano. Recuperado el 15 de marzo de 2023. https://www.redaccion.com.ar/mariana-maggio-hay-que-cambiar-el-corazon-de-la-propuesta-educativa/

Tobón, S., Pimienta Prieto, J., García Fraile, J. (2010). *Secuencias didácticas: aprendizaje y evaluación de competencias.* PEARSON EDUCACIÓN, México, 2010 ISBN: 978-607-442-909-1. Recuperado el 25 de mayo de 2020 de:https://www.researchgate.net/publication/287206904

Competencias requeridas por el docente universitario y las necesidades de formación.

José, Gustavo A.[1];Auvieux, Nicolás[1]; Reyes, Elsa[2]; Jaimovich, León[1];Martel, José E.[1]; Guzmán, María F.[1]; Torres Auad, Lía F.[1]

(1) Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán.
gajose@herrera.unt.edu.ar ; nauvieux@herrera.unt.edu.ar;
leon.jaimovich@herrera.unt.edu.ar; mferguzman@herrera.unt.edu.ar;
emartel@herrera.unt.edu.ar; ltorresauad@herrera.unt.edu.ar

(2) Facultad Regional Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional
elsareyes@frba.utn.edu.ar

RESUMEN

Se aborda la importancia de la formación docente integral, tanto en competencias pedagógicas como digitales en el contexto universitario post-pandémico. Se describe el trabajo del Centro de Educación a Distancia y Tecnologías Educativas (CEDITE) de la Universidad Nacional de Tucumán, enfocado en capacitar a los docentes en la inclusión de tecnología en la enseñanza universitaria, en promover un enfoque pedagógico centrado en el estudiante y en la importancia de desarrollar estrategias de aprendizaje sostenibles. Se analiza el modelo TPACK, como un enfoque que presenta competencias docentes esperables, y se presentan resultados parciales de una encuesta que indaga los conocimientos auto-percibidos por los docentes. También se toma en cuenta el Marco de competencias docentes en materia de TIC de la UNESCO. El artículo concluye con una reflexión sobre la necesidad de abordar los desafíos, en referencia a las necesidades de capacitación del claustro docente respecto de las competencias requeridas, y los que plantea, entre otras innovaciones tecnológicas, la Inteligencia Artificial en la educación.

ABSTRACT

The importance of comprehensive teacher training is addressed, both in pedagogical and digital skills in the post-pandemic university context. The work of the Center for Distance Education and Educational Technologies (CEDITE) of the National University of Tucumán is described, focused on training teachers in the inclusion of technology in university teaching, on promoting a student-centered pedagogical approach and on the importance of developing sustainable learning strategies. The TPACK model is analyzed, as an approach that presents expected teaching competencies, and partial results of a survey that investigates the self-perceived knowledge of teachers are presented. The UNESCO ICT Competency Framework for Teachers is also taken into account. The article concludes with a reflection on the need to address the challenges, referring to the training needs of the teaching staff regarding the required skills, and those posed, among other technological innovations, by Artificial Intelligence in education.

Palabras claves: competencias docentes, modelo TPACK, ciencias exactas, formación docente

Keywords: teaching competencies, TPACK model, exact sciences, teacher training.

1. INTRODUCCIÓN

La Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología (FACET) de la Universidad Nacional de Tucumán (UNT) es la unidad académica que recibe y da formación profesional a jóvenes interesados en la Ingeniería y, en general, en las ciencias duras. De hecho, muchos de sus actuales docentes han transitado esas mismas aulas.

Al intentar caracterizar al profesor de la FACET, surge como uno de sus rasgos sobresalientes el hecho de que la manera de impartir sus asignaturas está estrechamente –y casi exclusivamente– vinculada con los ejemplos que ha recibido oportunamente como estudiante, ya que el iniciar la carrera docente sólo se les exige un título de grado y no formación en pedagogía. Sin embargo, la trayectoria de esta unidad académica y su posicionamiento en el entorno regional y nacional dan cuenta del nivel de formación impartido y del reconocimiento a sus profesionales.

Al mismo tiempo, los docentes de la institución están inmersos en un ambiente esencialmente tecnológico y, por ende, aparentemente adaptado a los avances y novedades en el área. No obstante, podemos afirmar que no todos poseen todas las competencias tecnológicas que uno supone, pero tampoco carecen de todas las competencias pedagógicas como se cree.

Esta visión está sostenida en más de diez años de trabajo ininterrumpido en la formación del claustro docente, labor que comenzó allá por el 2010 con la creación del Centro de Educación a Distancia e Investigación en Tecnologías Educativas (CEDITE) en el seno de la misma facultad. Uno de los ejes de nuestro trabajo fue, y es hasta hoy, permitir a los docentes de la FACET comprender y adoptar el paradigma educativo emergente –nuevo en aquel entonces– frente al paradigma tradicional con el que ellos aprendieron y que, por lo tanto, emplean en su trabajo docente. Ese paradigma emergente es el que algunos denominaron postindustrial (Reigeluth, 2016) y que tiene características que destacan el aprendizaje centrado en el estudiante, el "aprender haciendo", el progreso basado en logros frente al progreso basado en tiempo, el aprendizaje personalizado frente al estandarizado, el trabajo colaborativo además del individual, entre otros. De hecho, los "sistemas de gestión de aprendizajes" (LMS, en inglés) que dan soporte tecnológico a los entornos virtuales de aprendizaje están basados en el modelo constructivista y es por eso por lo que nuestra tarea de capacitación docente estuvo orientada siempre a destacar la importancia de los nuevos roles tanto de los docentes como de los estudiantes.

El CEDITE es un equipo multidisciplinario que promueve permanentemente la formación de posgrado de sus integrantes y mantiene vínculos con instituciones de educación superior y con especialistas en la temática de la educación mediada por tecnologías. A lo largo de los años muchos referentes en el área han sido invitados para el dictado de conferencias y para el dictado de cursos de posgrado a los docentes de la UNT y actualmente contamos con la incorporación de colegas provenientes de otras universidades nacionales. Además de las actividades de asesoramiento, mantenimiento de FACETVirtual –entorno virtual que tiene más de 12 años de existencia–, y acompañamiento en la planificación y desarrollo de propuestas innovadoras y/o virtuales, nuestro Centro se focaliza en la formación docente, ofreciendo cursos que combinan el aprendizaje de recursos tecnológicos y la implementación didáctica de los mismos.

Sin embargo, estamos actualmente en un punto de inflexión que nos exige revisitar nuestra visión y nuestra propuesta de formación. Se cumplieron tres años desde el momento en que la educación universitaria presencial se "suspendió" por muchos meses debido al contexto global excepcional generado por una pandemia. Y nuestra unidad académica, como cualquier organización que necesite innovar a causa de condiciones externas impuestas, y al igual que muchas universidades, ha respondido, en su intento por dar continuidad a los procesos educativos, de manera improvisada, algunas veces llegando tarde o con una preparación insuficiente a esta adaptación, aplicando voluntarismo y replicando en la virtualidad modelos de aprendizaje que ya están siendo obsoletos en la presencialidad. Más allá de algunas buenas prácticas de colegas docentes, la pandemia demostró cuánto queda por hacer.

"La forma en que el sistema educativo ha enfrentado esta emergencia no hubiera sido posible hace apenas unas décadas porque las tecnologías disponibles hoy simplemente no existían. Evidentemente, lo que sigue siendo

necesario, sino imprescindible, es la formación docente en el uso adecuado de estas tecnologías y, además, mejoras en términos de conectividad y disponibilidad de recursos de hardware para estudiantes y profesores". (Lion y Cukierman, 2022).

Sin duda el actual escenario queda planteado como un lienzo en blanco: un desafío y a la vez un reto de lo que somos capaces.

"Este movimiento hacia la virtualidad impuesto por la pandemia del COVID-19 está resultando un desafío inevitable que obliga a actuar incluso a aquellos actores que son más resistentes a una mayor apropiación de la cultura digital. Las instituciones tradicionales ahora deben concebir las experiencias de aprendizaje remoto como un aspecto central del proceso integral de formación… Sin dejar de cuestionar el solucionismo tecnológico, esta situación de emergencia global debiera ser el punto de partida definitivo para disipar fronteras arquitectónicas, consolidar procesos de innovación en las formas de enseñanza remota y naturalizar la cultura digital en la educación superior" (Pardo Kuklinski y Cobos, 2020).

Está claro que toda crisis trae aparejada la necesidad de cambios, ajustes y adaptaciones ante situaciones no favorables. Es así como la Educación a Distancia (EaD), hasta hace poco considerada en desigualdad de condiciones frente a la educación presencial a causa de prejuicios acerca de su calidad, ha venido a interpelar a los profesores que hicieron uso de medios tecnológicos durante la denominada "educación remota de emergencia", que, si bien se diferencia de los principios basales de la EaD, hizo partícipes a todos, aún a los más resistidos en el uso de estas herramientas.

García Aretio (2017), un referente indiscutido y valorado de la EaD desde hace ya varias décadas, reafirma la calidad de la modalidad a distancia frente a sus detractores y va más allá: habla de disrupción educativa y explica claramente las razones: "*Frente a las resistencias, la educación a distancia y digital va tomando ventaja sobre los formatos presenciales. Cuando los diseños pedagógicos son acertados, la calidad de los aprendizajes digitales está probada. La eficacia de estos sistemas es, al menos, similar a la de los presenciales…, se plantea el debate sobre las innovaciones y tecnologías disruptivas, proponiendo que el aprendizaje digital –nueva versión de la educación a distancia– está suponiendo una disrupción educativa porque plantea un cambio drástico de soportes y métodos y porque progresivamente va ganando espacio a los formatos convencionales*".

Con estas ideas presentes y resonantes en nuestro quehacer cotidiano, encaramos una revisita a nuestros objetivos y a la visión y misión del CEDITE, definidos hace ya algunos años para poder resignificarlos y enfocar la formación del claustro docente hacia un nuevo "modelo", promoviendo e incentivando a este "cambio de soportes y métodos". Para alcanzar este objetivo se hace imprescindible definir y analizar las competencias docentes requeridas para el desenvolvimiento exitoso del profesor en el actual contexto universitario post pandemia.

2. COMPETENCIAS DOCENTES

Hacia el año 2004, Pepino Barale enumeró las características del profesor en el paradigma educativo tradicional. Según este autor, el profesor era la referencia fundamental para el acceso al saber –que inclusive ostentaba en algún momento el monopolio del conocimiento especializado de la asignatura–, prerrogativa eliminada desde el mismo momento en que surgió la Internet, herramienta que pone a su alcance la bibliografía, el temario, o la documentación de muchos centros universitarios. El mayor tiempo de la labor docente tradicional se ocupaba en la transmisión de contenidos específicos, dosificados en distintos grados para su mayor asimilación. En la actualidad, en cambio, las TIC facilitan enormemente el acceso a la información y reducen la carga de exposición del profesor, lo que posibilita e invita al docente a poner mayor énfasis en favorecer el desarrollo de habilidades en sus estudiantes, destrezas que les permitirán mejorar sus criterios de búsqueda. De esta manera, el profesor se transmuta en un tutor que supervisa el proceso de aprendizaje del alumno.

Sin embargo, luego de varios años la situación en nuestras aulas no parece haberse modificado lo suficiente. Prueba de ello es el pedido que Pardo Kuklinski y Cobos (2020) nos hacen en su publicación del año 2020: "*que los docentes universitarios dejen de ser meros divulgadores de contenidos y se transformen en diseñadores de experiencias de aprendizaje*".

Pero esto es sólo un aspecto –basal, por cierto– pero no suficiente para el nuevo rol docente que estos tiempos están requiriendo. Hay otras

cuestiones que nos interpelan profundamente porque de ellas depende la vida profesional de nuestros egresados en un mundo diferente y globalizado. Coincidimos con Cárdenas (2017) en que resulta indispensable que los docentes desarrollen además estrategias para lograr aprendizajes sostenibles en el tiempo, como el desarrollo de habilidades, el aprender a aprender, la educación continua, y el desarrollo y la formación de competencias.

La labor docente, como toda actividad profesional, debe obligarnos a mantenernos actualizados, enfocados en los cambios que traen aparejados las nuevas corrientes pedagógicas, la evolución de las tecnologías, las modificaciones en las normativas institucionales, y el mercado laboral donde se desenvolverán nuestros egresados, entre muchas cuestiones. Es por esto por lo que resulta imperioso preguntarnos e investigar: ¿Cómo estar preparados? ¿Qué competencias debemos desarrollar para enfrentar este desafío?

El desarrollo de la sociedad global del conocimiento y la rápida integración de las TIC, junto con los cambios en los mercados laborales, hacen imperativo adquirir nuevas habilidades –que llamamos competencias digitales– necesarias para el empleo y la participación en la sociedad. Esta evolución exige una mayor atención a la identificación y adquisición de esas competencias que los ciudadanos necesitan para participar activa y efectivamente en la sociedad del conocimiento (van Laar et al., 2017).

En el caso de la educación, el foco está en la competencia digital de los docentes. Esto no es un problema nuevo. Mientras que durante la décadade 1980 la integración efectiva de la tecnología en la educación se centró en la disponibilidad y el acceso a la infraestructura tecnológica, en la década de 1990 el enfoque cambió a la relevancia del desarrollo profesional de los docentes. Desde entonces, han surgido consideraciones adicionales sobre los factores ambientales y contextuales, pero la competencia digital de los docentes sigue siendo un factor clave en las políticas educativas internacionales hasta la fecha (Cattaneo et al., 2022).

Los sistemas educativos luchan por responder a las demandas del mercado laboral. Como resultado, la brecha entre las organizaciones educativas públicas y privadas se ha ampliado aún más. Por ejemplo, las universidades están llamadas a actualizar rápidamente sus programas incluyendo nuevas competencias para mantener la alineación con la evolución del mercado laboral, pero la realidad muestra que los sistemas educativos tradicionales necesitan tiempo para desarrollar e implementar programas nuevos o modificados de manera efectiva. Este proceso se ha acelerado por la crisis del COVID-19, que ha impulsado una digitalización más rápida de la educación y el aprendizaje en línea (Spada et al., 2022)

Es difícil hacer una definición simple y clara de competencias digitales, ya que las tecnologías digitales cambian constantemente e influyen en las carreras, la educación y la vida social de las personas. (Çebi et al., 2022). Por esta razón, investigadores e instituciones han desarrollado diferentes definiciones acerca de esta idea.

La “competencia digital” se refiere a un concepto complejo que surgió en la literatura a fines de la década de 1990 como “alfabetización digital”. Más tarde en 2006, apareció en documentos oficiales como una competencia clave para el aprendizaje permanente. Actualmente las políticas educativas integran la creciente conciencia de la competencia digital para los ciudadanos y los estudiantes describiéndola como una competencia básica requerida para una participación plena en la vida cívica, social y profesional. Muchas de estas políticas en educación vigentes se refieren en particular a la competencia digital docente. Además de definir conceptualmente esa competencia, el problema aquí es cómo organizar la formación docente y empoderar a los docentes para que puedan integrar la tecnología de manera efectiva en su práctica docente. En este sentido, la competencia digital docente constituye una capa adicional que los mismos deben incorporar como profesionales de la educación. Ejemplos representativos de marcos de competencias digitales docentes conceptuales e impulsados por la teoría son el modelo de conocimiento de contenido pedagógico tecnológico(TPACK) y el modelo Will Skill Tool Pedagogy (Cattaneo et al., 2022).

La promesa del aprendizaje del siglo XXI es que las tecnologías digitales transformarán el aprendizaje tradicional y movilizarán aquellas habilidades que son necesarias en un entorno digital emergente, por lo que estas habilidades van más allá de la mera anotación técnica. La manera en que piensa resuelve problemas y aprende una persona influye más en su capacidad para funcionar en una sociedad tecnológicamente

rica que simplemente tener conocimientos sobre un software específico. Por ello, la competencia digital se ha convertido en un concepto clave en la discusión sobre qué tipo de habilidades deben tener los ciudadanos en la sociedad del conocimiento. La competencia digital va más allá del mero uso técnico. Abarca aspectos como la gestión de la información, la colaboración, la comunicación y el intercambio, la creación de contenido y conocimiento, la ética y la responsabilidad, la evaluación y resolución de problemas y las operaciones técnicas.

Muchos autores han planteado diferentes conceptos en respuesta a las habilidades necesarias en los nuevos entornos digitales y tecnológicos. Algunos de ellos son: competencia digital, alfabetización digital, habilidades digitales, e-skills, habilidades del siglo XXI y competencia del siglo XXI. "*Claramente, estos conceptos se están moviendo en la dirección en que toman en cuenta las habilidades relacionadas con el conocimiento o el contenido*"(van Laar et al., 2017).

Como dijimos, preparar el sistema para afrontar la transformación digital requiere desarrollar la competencia digital de los ciudadanos en general y de los docentes en particular para aprovechar el potencial de las tecnologías digitales y hacer frente a las dificultades que dichas tecnologías podrían traer. En este sentido, "*se puede definir la competencia digital como la capacidad de los individuos de utilizar la tecnología digital de manera efectiva para su desarrollo en todos los ámbitos abarcando también la conciencia y las habilidades éticas relacionadas con el conocimiento*" (Çebi et al., 2022).

Todas estas demandas y requerimientos de la sociedad digital hacia las instituciones educativas requieren que los docentes se capaciten, actualicen y mejoren sus conocimientos, así como sus habilidades cognitivas, pedagógicas, actitudinales y digitales para brindar un desempeño efectivo. En consecuencia, "*surge la necesidad de desarrollar la competencia digital docente, entendida ésta como la suma de habilidades tecnopedagógicas y comunicativas para desenvolverse efectivamente en los nuevos contextos educativos que están generando las tecnologías*" (Basantes-Andrade et al., 2022).

3. EL MODELO TPACK

La UNESCO habla de competencias TIC para docentes[1], sin embargo, consideramos que, antes de sumergirnos en esta lista, hay un enfoque más amplio ofrecido por el Modelo TPACK que es oportuno analizar: "*El modelo TPACK integra tres tipos de conocimiento: el conocimiento tecnológico, el conocimiento pedagógico y el conocimiento curricular. Estos conocimientos se hibridan y generan nuevos conocimientos, como el conocimiento tecno-pedagógico, el conocimiento tecnológico del contenido y el conocimiento pedagógico de contenido. La confluencia de estos segundos conocimientos genera un momento de hibridación entre la tecnología, el contenido disciplinario y la pedagogía que se define como el conocimiento tecnológico-pedagógico del contenido (TPACK). Los conocimientos del TPACK se hibridan, interaccionan entre sí y se integran efectivamente en ambientes de enseñanza y aprendizaje; la integración TPACK genera un estado de equilibrio dinámico y de complementariedad*"
(Mishra & Koehler, 2006; Teng Lye, 2013).

Este modelo supone un enfoque integral en la forma de abordar la formación de docentes y en la manera en que sus habilidades, conocimientos y herramientas impactan en el proceso de enseñanza-aprendizaje. La importancia del TPACK radica en asumir que los docentes son el motor real de cambio del sistema educativo: cuanto mejor preparados estén y mejor formación en contenidos, tecnológica y pedagógica posean, mayor será el impacto que logren sobre su alumnado y, por tanto, sobre su futuro profesional y la sociedad.

El modelo TPACK es reconocido por la comunidad científica para describir la comprensión de los docentes sobre la compleja interacción entre contenido, pedagogía y tecnología.

Encontramos en el modelo lo que Balladares Burgos y Valverde Berrocoso (2021) mencionan como "*un referente epistemológico y como un marco teórico-conceptual pertinente para la*

[1]La última versión del Marco de competencias de los docentes en materia de TIC UNESCO, publicada en 2018, tiene en cuenta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, y está ideada para preservar las competencias que siguen siendo pertinentes y enmarcarlas en el contexto de los actuales avances tecnológicos y las exigencias cambiantes de la vida y el trabajo.

formación docente para el desarrollo de competencias digitales".

Así motivados, este equipo de trabajo puso manos a la obra en una experiencia simple e inicial que, a partir del modelo TPACK, permitiera identificar los conocimientos requeridos por un grupo de reducido de docentes que orienten al propósito -implícito en el modelo- para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje a través de aplicaciones tecnológicas. Del estudio del modelo y su aplicación por colegas de otras instituciones universitarias, seleccionamos un modelo de cuestionario propuesto por Cabero Almenara, J. et al (2015). Las preguntas de este cuestionario, 38 en total, indagan, con un recorrido por los siete conocimientos básicos y derivados, acerca de la autopercepción de los docentes respecto de los mismos.

Fue así que, durante el dictado de un curso de posgrado denominado "Tecnología Educativa en las prácticas de enseñanza en la universidad", se implementó, a través de una herramienta denominada Actividad Encuesta y provista por la plataforma Moodle, este cuestionario en el Aula virtual del curso.

Si bien la encuesta fue planteada como una actividad obligatoria, no todos los docentes participantes, la mayoría de ellos de nuestra unidad académica, la facultad de ciencias exactas, respondieron, es decir, completaron la misma.

Del análisis de las respuestas obtenidas, pudimos observar que los conocimientos percibidos por los profesores coincidían mayormente y no se apartaban de las respuestas "esperadas".

Para mostrar un panorama general, si bien el cuestionario consta de seis preguntas en promedio por tipo conocimiento, a continuación, se muestran las exclusivamente las respuestas referidas a indagar la percepción docente acerca del conocimiento integrador, es decir, al conocimiento tecno-´pedagógico del contenido, tpack, propuestas por el cuestionario. Las más representativas están analizadas en cuatro figuras.

En la **figura 1** podemos observar que, contrariamente a lo esperado, sólo el 40% -entre los que están muy de acuerdo y los que están de acuerdo-, se sienten capaces de integrar matemáticas con tecnologías y enfoque docente, mientras que el 30% se mantienen en una autopercepción neutral.

La enseñanza de las matemáticas mediada por tecnologías y estrategias didácticas presenta una primera llamada de atención con un 30% de docentes que se manifiestan en desacuerdo con la afirmación inicial de la pregunta, en una unidad académica que forma profesionales ingenieros.

Figura 1: Pregunta del grupo TPACK, referida a la capacidad autopercibida por los profesores de combinar adecuadamente matemáticas, tecnologías y enfoque docente.

En la **figura 2**, el 40% de los encuestados afirman tener conocimiento para seleccionar tecnologías en el aula que mejoren los contenidos impartidos y lo que aprende el alumnado. Casi el 40% se posiciona en un lugar intermedio, sin poder afirmar o negar rotundamente este saber. Coincidiendo con la percepción inicial de este grupo de trabajo, y la experiencia adquirida en años de generar capacitaciones al claustro docente, no es un dato menor.

Figura 2: Pregunta del grupo TPACK, referida a la capacidad auto-percibida por los profesores de seleccionar tecnologías en el aula que mejoren los contenidos impartidos y lo que aprende el alumnado.

La inclusión de la tecnología en el aula por docentes de nuestra facultad es una asignatura

pendiente de formación, a pesar de los ingentes esfuerzos y las capacitaciones orientadas a tal fin.

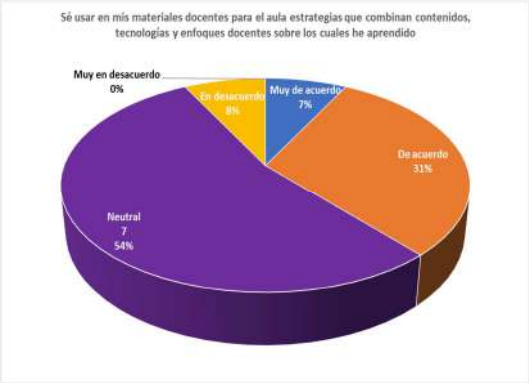


Figura 3: Pregunta del grupo TPACK referida al conocimiento autopercibido de los docentes acerca del uso de materiales propios con estrategias que combinan contenidos, tecnologías y enfoques docentes sobre los cuales ha aprendido.

De las preguntas más significativas, continuamos con una en particular que está referida a la creación e implementación de materiales propios en el dictado de sus contenidos, temática siempre presente en los cursos de formación y promovida desde el CEDITE como elemento esencial de propuestas mediadas por tecnologías. Es que precisamente la elaboración de materiales para la enseñanza involucra e integra el conocimiento del contenido a impartir, con diseño instruccional -desde la didáctica- y con competencias digitales.

En la **figura 3** podemos observar que más del 50% de los encuestados no pueden asegurar competencias en ese sentido.
Esto manifiesta claramente la necesidad de generar una propuesta de capacitación referida a la producción de materiales propios, y, en conjunción con la pregunta de la figura 1, capacitación orientada a las disciplinas propias de la unidad académica.
Y finalmente, la **figura 4**, indaga acerca de las condiciones para el trabajo colaborativo en la cátedra respecto de la integración de conocimientos.
Esta pregunta es muy significativa, ya que sus respuestas evidencian que más del 30% de los docentes no sienten la capacidad de guiar y ayudar a otras personas a coordinar el uso de contenidos**,** tecnologías y estrategias docentes.

Más del 20% asume una posición intermedia, mientras que el 40% afirma poder realizar esta tarea.

Figura 4: Pregunta del grupo TPACK referida a la capacidad del docente para guiar y ayudar a otras personas a coordinar el uso de contenidos**,** tecnologías y estrategias docentes.

El análisis completo de la totalidad de las respuestas ha permitido al CEDITE orientar la planificación de futuras capacitaciones, sobre la base de los conocimientos *percibidos* por los propios profesores. Sin embargo, más allá de esta autoevaluación que podría realizarse en forma masiva al claustro en general, es importante trabajar sobre la viabilidad de una evaluación fehaciente de los conocimientos del claustro docente.
El modelo tiene como objetivo principal medir y ofrecer pautas para lograr en los docentes un enfoque superador:
"En este sentido, el conocimiento TPACK incide en la educación digital del docente cuando discierne y adopta la tecnología idónea para un determinado contenido disciplinar o científico a través de estrategias pedagógicas que respondan al aprendizaje del estudiante" (Balladares Burgos y Valverde Berrocoso, 2021).

4. MARCO DE COMPETENCIAS DOCENTES EN MATERIA DE TIC (UNESCO)

La última versión presentada por la UNESCO del Marco de competencias docentes en materia de TIC[2], destaca que los docentes, además de

[2]https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000371024

adquirir competencias relativas a las TIC y la capacidad de desarrollarlas en sus alumnos, deben poder utilizarlas para ayudar a estos a convertirse en educandos colaborativos, creativos, capaces de resolver problemas, y en miembros innovadores y comprometidos de la sociedad.

Este Marco presenta un total de 18 competencias TIC estructuradas en torno a seis aspectos: Comprensión del papel de las TIC en las políticas educativas, Currículo y evaluación, Pedagogía, Aplicación de competencias digitales, Organización y administración y Aprendizaje profesional de los docentes.

A su vez, cada uno de estos aspectos se divide en tres niveles de uso pedagógico del docente de estas tecnologías en el aula: Adquisición de conocimiento, Profundización del conocimiento y Creación del conocimiento.

En sintonía con este enfoque, otros autores ahondan en la conceptualización de las competencias digitales definiéndolas como el "conjunto de capacidades, habilidades y actitudes que comprometen a los/as docentes a incorporar y usar adecuadamente las TIC como un recurso metodológico convirtiéndose así, en Tecnologías para el Aprendizaje y el Conocimiento (TAC) con una clara implicación didáctica" (Tourón, 2018).

Con el foco en esta cuestión, la tercera versión del Marco Unesco recoge y destaca innovaciones y tecnologías varias como los recursos educativos abiertos, que están plenamente disponibles para su uso por educadores y estudiantes, sin necesidad de pagar regalías o derechos de licencia, ya que los REA incorporan una licencia que facilita su reutilización. También menciona el uso de las redes sociales para facilitar el aprendizaje interactivo y construir comunidades, y las tecnologías móviles, puesto que actualmente los alumnos acceden a las plataformas de aprendizaje haciendo uso de tabletas y dispositivos móviles.

"Los procesos educativos en la actualidad, y con mayor fuerza a partir de la situación de pandemia vivida, se encuentran atravesados por dispositivos, herramientas, redes sociales, y diversos entornos digitales" (Kotilainen et al., 2020). Todos ellos recursos metodológicos que, parafraseando a Touron, se potencian en TAC, al igual que otros como Internet de las cosas, la realidad virtual y realidad aumentada que pueden proporcionar una alternativa a la asistencia presencial en el aula, al ejercer la función de simuladores de entornos de aprendizaje reales.

5. INNOVACIONES TECNOLÓGICAS Y NUEVOS DESAFÍOS PARA EL DOCENTE UNIVERSITARIO

Al mencionar que la incorporación y el uso adecuado de las TIC como un recurso metodológico las convierte en Tecnologías para el Aprendizaje y el Conocimiento, no se puede dejar de reflexionar acerca de las muy actuales y mentadas aplicaciones de Inteligencia Artificial (IA),que han tomado reciente notoriedad y cuyo uso por parte de nuestros estudiantes nos invita a revisar profundamente nuestras prácticas docentes para valernos de ella a nuestro favor.

Los desarrollos referidos a la Inteligencia Artificial datan de varias décadas atrás, y, por ello, numerosas herramientas basadas en IA. No obstante, desde hace relativamente poco tiempo, las aplicaciones de IA adquirieron masiva notoriedad debido al nivel de accesibilidad y facilidad de uso que proponen, con un nivel de asertividad considerable.

Desde que el aprendizaje profundo[3] recuperó prominencia alrededor del 2010, los softwares gratuitos y de código abierto especializados para el aprendizaje profundo han sido enormemente responsables de impulsar el campo hacia adelante.

Desde entonces, se han introducido una multitud de nuevos conjuntos de datos estimulando investigación en subcampos de la IA como el procesamiento de lenguaje natural (NLP) y reconocimiento de voz y audio. (Abeliuk y Gutierrez, 2022).

El éxito de OpenAI, ChatGPT[4] fue una sensación de la noche a la mañana, pero se basa en décadas de investigación.

Como docentes universitarios no podemos dejar de cuestionarnos cuál puede ser el impacto de esta tecnología en los diferentes aspectos de la sociedad, y particularmente en la educación.

[3] Aprendizaje profundo: es un conjunto de algoritmos de aprendizaje automático que intenta modelar abstracciones de alto nivel en datos usando arquitecturas computacionales que admiten transformaciones no lineales múltiples e iterativas de datos expresados en forma matricial o tensorial.

[4] ChatGPT es un modelo lingüístico, basado en redes neuronales, que se entrenó mediante aprendizaje por refuerzo a partir de los comentarios de evaluadores humanos que calificaron su rendimiento como un interlocutor fluido, preciso e inofensivo.

¿Las competencias evaluadas por el modelo TPACK,y la lista del Marco UNESCO contemplan las habilidades docentes puestas en juego a la hora de aprovechar estas aplicaciones de uso masivo como herramientas que potencien los aprendizajes?

Todo lo dicho implica para los docentes retos de variada complejidad, que seguramente incluirá instancias de formación, como también la búsqueda de experiencias de colegas que trabajan en la docencia en la misma área de conocimiento, trabajo colaborativo intra-cátedra, y, sobre todo, mucha, pero mucha planificación. Ahora bien, a la hora de planificar, el primer paso será caracterizar a los destinatarios: los alumnos.

Los estudiantes, ¿son verdaderamente competentes tecnológicamente hablando? Prejuicios y realidad. Análisis que seguramente puede ser tratado en un próximo trabajo.

6. CONCLUSIONES

Nuestra inquietud acerca de las competencias docentes requeridas para la inclusión de las TIC en las aulas universitarias y la implementación de propuestas mediadas de aprendizaje ha sido el foco de las numerosas capacitaciones planificadas por el CEDITE a lo largo de los años, en el marco de nuestros proyectos de investigación, y se vio acrecentada por el escenario post pandémico.

Tanto el modelo TPACK como el Marco UNESCO de competencias docentes han permitido dar los primeros pasos en un análisis sistemático y efectivo de la realidad de nuestra unidad académica.

El cuestionario TPACK utilizado en la encuesta ofrecida a los docentes de una capacitación en curso, ha arrojado resultados a considerar.

Nuestras metas de formación del claustro docente se vieron enriquecidas por los resultados obtenidos, ya que ofrecieron orientaciones y direccionamientos para futuras capacitaciones y también para la optimización de las propuestas dictadas y en dictado actual.

Entre las propuestas de capacitación planificadas a partir del análisis de las encuestas, podemos mencionar dos cursos de posgrado: “Matemática para ingenieros, tecnología y enfoque docente” y “Producción de materiales educativos digitales propios a partir estrategias de tecnología educativa”.

La experiencia de indagar sobre los conocimientos auto percibidos por nuestros docentes nos alienta a expandir la encuesta más allá de los límites del curso en que fue diseñada, para generalizar a todo el claustro docente.

Sin embargo, este equipo de trabajo coincide plenamente en la necesidad de encontrar herramientas que permitan realizar una evaluación fehaciente de los siete conocimientos propuestos por el modelo TPACK.

Este desafío, aunado a los que presenta el nuevo escenario de innovaciones tecnológicas que deben ser tenidas en cuenta a la hora de reformular el rol docente, y sus necesidades de capacitación, nos plantean nuevas y definidas líneas de estudio e investigación, como, por ejemplo, la inclusión de Inteligencia Artificial (IA) en la práctica áulica, y, claro está, nuevas líneas de acción.

7. REFERENCIAS

Reigeluth, C. M. *(*2016). Teoría instruccional y tecnología para el nuevo paradigma de la educación. *RED - Revista de Educación a Distancia*, 50, 1-20.

Lion, C., Cukierman, U., y Scardigli, M. (2022). The Emergence of the Emergency in Higher Education in Argentina. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)*, 17(11), 84–98. https://doi.org/10.3991/IJET.V17I11.31113

Pardo Kuklinski, H. y Cobo, C. (2020). *Expandir la universidad más allá de la enseñanza remota de emergencia. Ideas hacia un modelo híbrido post-pandemia.* OutliersSchool. Barcelona.

García Aretio, L. (2017). Educación a distancia y virtual: calidad, disrupción, aprendizajes adaptativo y móvil. *RIED-Revista Iberoamericana De Educación a Distancia*, 20(2), 9–25. https://doi.org/10.5944/ried.20.2.18737

Pepino Barale, A. M. (2004). La docencia universitaria ante un nuevo paradigma educativo. *Revista Diálogo Educacional, Curitiba,* 4(13), 43-52.

Cárdenas, L. T. (2017). *Del aprendizaje tradicional al cambio de paradigma educativo*. *CRAIUSTA*.
http://hdl.handle.net/11634/10184

van Laar, E., van Deursen, A. J. A. M., van Dijk, J. A. G. M. y de Haan, J. (2017). *The relation between 21st-century skills and digital skills: A systematic literature review*.

Computers in Human Behavior, 72, 577-588, https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.03.010.

Cattaneo, A. A. P., Antonietti, C. y Rauseo, M. (2022). *How digitalised are vocational teachers? Assessing digital competence in vocational education and looking at its underlying factors*. *Computers & Education*, 176(104358), https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104358.

Spada, I., Chiarello, F., Barandoni, S., Ruggi, G., Martini, A. y Fantoni, G. (2022). Are universities ready to deliver digital skills and competences? A text mining-based case study of marketing courses in Italy. *Technological Forecasting and Social Change*, 182(121869), https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121869.

Çebi, A., Özdemir, T. B., Reisoğlu, I. y Çolak, C. (2022). From digital competences to technology integration: Re-formation of pre-service teachers' knowledge and understanding. *International Journal of Educational Research*, 113(101965). https://doi.org/10.1016/j.ijer.2022.101965.

Basantes-Andrade, A., Cabezas-González, M., Casillas-Martín, S., Naranjo-Toro, M. y Benavides-Piedra, A. (2022). NANO-MOOCs to train university professors in digital competences. *Heliyon*, 8(6). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09456.

Mishra, P. y Koehler, M. J. (2006). Technological Pedagogical Content Knowledge: a framework for teacher knowledge. *TeachersCollegeRecord*, 108(6), 1017-1054.

Tourón, J. M. D., Navarro, E., Pradas, S., e Íñigo, V. (2018). Validación de constructo de un instrumento para medir la competencia digital docente de los profesores (CDD). *Revista Española de Pedagogía*, 76(269), 25-54. https://doi.org/10.22550/

Kotilainen, S., Okkonen, J., Vuorio, J. &Leisti, K. (2020). Youth Media Education in the Age of Algorithm-Driven Social Media. En D. Frau-Meigs, S. Kotilainen, M. Pathak-Shelat, M.

Abeliuk A. y Gutierrez C. (2021). *Historia y evolución de la Inteligencia Artificial*. https://revistasdex.uchile.cl/index.php/bits/article/download/2767/2700/10150

Cabero Almenara J., Marín Díaz V., Castaño Garrido C. (2015). Validación de la aplicación del modelo TPACK para la formación del profesorado en TIC. Revista d'innovació educativa. Universidad de Valencia, España. Págs. 13-22. ISSN: 1989-3477.

8. BIBLIOGRAFÍA

Gómez-Trigueros, Isabel M.- Digital skills and ethical knowledge of teachers with TPACK in higher education, (2023). ContemporaryEducationalTechnology, 2023, 15(2), ep406. ISSN: 1309-517X

Implicancias de laInteligencia Artificial 2.0 en el Proceso de Enseñanza-Aprendizaje (PEA) en la educación superior

Juarez, Gustavo E.[1]; Menendez, Franco D.[1];Lafuente, Cristian H.[1]; Perez, Jorge O.[2]; YélamosCaceres, Marta[4]; Franco, Leonardo[3].

(1) Laboratorio de Inteligencia Artificial. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán.gjuarez@herrera.unt.edu.ar, fmenendez@herrera.unt.edu.ar, clafuente@herrera.unt.edu.ar,

(2) Laboratorio de Procesamiento Digital de Información. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán.jperez@herrera.unt.edu.ar

(3) Departamento de Lenguajes y Ciencias de la Computación, Universidad de Málaga (ESPAÑA). lfranco@lcc.uma.es

(4) Facultad de Abogacía y Ciencias Sociales, Universidad Nacional de Tucumán. yelamos.marta@gmail.com

RESUMEN

Durante el año 2023 se lanzaron herramientas de Inteligencia Artificial (IA), cuyas funcionalidades plantearon debates éticos y pragmáticos acerca del futuro de la sociedad, especialmente en el reemplazo de seres humanos por IA en el mercado laboral, y su uso en procesos educativos. La constante evolución de la IA conversacional, permite una interacción más natural y fluida entre humanos y máquinas, lo que mejora la experiencia del usuario, reemplazándolo o potenciando sus tareas. La ética atraviesa el proceso de enseñanza-aprendizaje, en donde los docentes deben aprender y entrenarse en el uso correcto de prompts, para capacitar a los estudiantes en el correcto uso, no solo áulico sino en el marco del futuro profesional de los mismos y la proyección de estas herramientas en el mercado laboral, ayudando a mejorar la eficiencia en la producción y procesamiento de tareas y procesos. En general, se espera que la Inteligencia Artificial continúe transformando y mejorando muchos aspectos de nuestra vida cotidiana en el futuro. Este trabajo pretende dar visibilidad a estas herramientas emergentes y disruptivas, tratando de mostrar como interactuar con ellas en el aula y la sociedad.

ABSTRACT

During the year 2023, Artificial Intelligence (AI) tools were launched, whose functionalities raised ethical and pragmatic debates about the future of society, especially about the replacement of human beings by intelligent processes in the labor market, and their use. in educational processes. The constant evolution of conversational Artificial Intelligence allows a more natural and fluid interaction between humans and machines, which can improve the user experience in a variety of situations, replacingit or empowering its tasks. Ethics through the teaching-learning process, where teachers must learn and train in the correct use of prompts, to train students in the correct use, not only in the classroom but within the framework of their professional future and the projection of these tools in the labor market, helping to improve efficiency in the production and processing of tasks and processes. In general, Artificial Intelligence is expected to continue transforming and improving many aspects of our daily lives in the future. This work aims to give visibility to these emerging and disruptive tools, trying to show how to interact with them in the classroom and in society.

Palabras claves: Inteligencia Artificial, Ética, Procesos Áulicos, Lenguajes Generativos (ChatGPT).

Keywords: Artificial Intelligence, Ethics, Classroom Processes, Generative Languages (ChatGPT).

1. INTRODUCCION A NUEVAS HERRAMIENTAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA)

La presentación de ChatGPT4.0 (LenguageTransformador Generativo Preentrenado o Generative Pre-trainedTransformer)el 14 de marzo, junto con otras aplicaciones prácticas de la Inteligencia Artificial (IA), provocaron que la IA estuviera de nuevo presente en la sociedad, tanto en lo consciente como en el inconsciente colectivo, dado que se las presento como técnicas y algoritmos avanzados, propios de una nueva era, que provoco debate recurrentes acerca del reemplazo humano de puestos de trabajo, tanto de escritorio como industriales, y del impacto en el Proceso de Enseñanza-Aprendizaje (PEA).

ChatGPT encabezo el ranking de las herramientas de IA más usadas durante los últimos 6 meses, dado que en diciembre de 2022 se lanzó la versión 3.5 de este Lenguaje Generativo de la familia de los GPT (Generative Pre-trainedTransformer) desarrollado por la empresa OpenAI"OpenAI (2023)"Contiene una red neuronal gigantesca de unos 175 millones de parámetros ajustables para modelar el lenguaje y generar respuestas y, como tal, forma parte del segmento de aprendizaje profundo del aprendizaje automático.

Modelos como los de la familia GPT, utilizan la arquitectura Transformer y el aprendizaje por transferencia para generar texto de manera autónoma a partir de una entrada inicial, y que fueran entrenados para tareas específicas.

El uso de ChatGPT,como modelo de procesamiento de lenguaje natural basado en inteligencia artificial, busca generar respuestas coherentes y útiles a partir de preguntas o comentarios realizados en lenguaje natural, las cuales reciben el nombre de *Prompt*.La finalidad de la herramienta consiste en responder preguntas generales, hasta asistir en la creación de contenido, mejorar la traducción automática, generar código fuente en diferentes lenguajes de programación, entre otros.

Como modelo de lenguaje, puede entender la gramática, la sintaxis, la semántica y el contexto de las palabras que se le presentan para generar respuestas coherentes y útiles en lenguaje natural, resguardando los prompts generados en una misma instancia con el objeto de depurar las respuestas que entrega dentro de un mismo contexto.

2. PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE

2.1. Enfoque ético del Docentey su capacitación

Entendiendo a la ética en el contexto educativo como la aplicación de principios morales y valores éticos en la enseñanza, el aprendizaje y la interacción en el ámbito educativo, debemos considerar cómo se deben abordar y tratar los asuntos éticos relacionados con la educación, tanto en el proceso de enseñanza-aprendizaje (PEA) como en las relaciones entre los diferentes actores educativos. Este tratamiento de la ética necesariamente debe ser realizado de paridad en la relación docente-alumnos, atiendo a dos cuestiones principales, pero no excluyentes: a) El respeto y dignidad, los educadores deben respetar la dignidad y los derechos de los estudiantes, esto implica reconocer y valorar las características individuales, las diferencias culturales y las necesidades específicas de los estudiantes. En este contrato tácito los estudiantes deben corresponder de igual manera en su trato al docente, y b) La integridad académica, la ética educativa, y la honestidad intelectual promueven uncomportamiento ético en entornos. Los educadores deben fomentar el uso ético de fuentes de información, promover el pensamiento crítico, el fortalecimiento del carácter científico y enseñar a los estudiantes sobre la atribución adecuada y el respeto a los derechos de autor.

De este modo, desde el punto de vista que nos ocupa del uso del ChatGPT y la ética del estudiante, es importante que el estudiante utilice el ChatGPT de manera responsable y ética, en su doble rol, el de consultor y el de creador o guía de aprendizaje al lenguaje GPT. Esto implica no utilizar la tecnología para difundir información falsa, dañina o engañosa. El estudiante debe tener cuidado al formular preguntas (prompts),asegurándose que su uso del modelo no viole los principios éticos, como el respeto a la privacidad, la integridad académica o los derechos de autor. Como norma general el docente debe inculcar al estudiante principios

mínimos de ética, citar adecuadamente las respuestas generadas: Si un estudiante utiliza información proporcionada por ChatGPT en un trabajo académico, es fundamental citar adecuadamente las respuestas generadas, reconociendo la contribución del modelo y proporcionar esta información es esencial para mantener la integridad académica y evitar el plagio. El estudiante debe ser consciente de que la aplicación Chat GPT, al ser entrenado con datos de texto en línea, puede reflejar los sesgos y prejuicios presentes en esos datos. Es importante que el estudiante sea crítico y reflexivo al evaluar las respuestas generadas y evitando propagar estereotipos, discriminación o contenido perjudicial. Promover el uso equilibrado, aunque el ChatGPT puede ser una herramienta útil para obtener información y respuestas, es esencial que el estudiante no dependa exclusivamente de ella, dado que el uso de esta tecnología integrada con otras fuentes de información, le permita investigar y desarrollar habilidades de pensamiento crítico de manera independiente. El uso ético de ChatGPT por parte del estudiante implica entonces utilizarlo de manera responsable, citar adecuadamente las respuestas generadas, ser consciente de los sesgos y prejuicios, equilibrando su el uso de la tecnología con otras fuentes de información. Al hacerlo, el estudiante puede aprovechar las ventajas de la tecnología basadas en IA de manera ética y responsable.

En relación al uso de lenguajes basados en GPT en la elaboración de exámenes, es importante considerar los aspectos éticos y las políticas establecidas por las instituciones educativas. El uso de GPT durante los exámenes puede plantear preocupaciones sobre la integridad académica y el riesgo de plagio. Los estudiantes deben seguir las directrices y políticas establecidas por sus instituciones educativas con respecto a la utilización de tecnología de generación de texto durante los exámenes. Si está prohibido el uso de dicha tecnología, es importante respetar estas normas para mantener la integridad del proceso de evaluación. Es responsabilidad del estudiante conocer y cumplir con estas políticas. Si el uso de GPT está permitido durante los exámenes, los estudiantes deben utilizarlo de manera ética y responsable. Esto incluye citar adecuadamente las respuestas generadas por la herramienta para evitar el plagio. Los exámenes son una oportunidad para evaluar el conocimiento y las habilidades de los estudiantes. Dependiendo del propósito delaevaluación, es posible que la estrategia planteada por el docentebusque evaluar la comprensión y el pensamiento crítico de los estudiantes, y no solo la capacidad de obtener respuestas generadas por GPT, tratando de establecer límites en el uso de los recursos disponibles, y que los estudiantes desarrollen sus propias habilidades y conocimientos en lugar de depender exclusivamente de la tecnología. En última instancia, las políticas y directrices establecidas por las instituciones educativas determinarán el uso apropiado de GPT durante los exámenes. Los estudiantes deben familiarizarse con estas políticas y actuar de acuerdo con ellas, asegurándose de mantener la integridad académica y el cumplimiento ético durante el proceso de evaluación.

Puede surgir naturalmente la pregunta por parte del docente si el alumno, independientemente de la cuestión ética utilizó la aplicación GPT para la resolución parcial o total de los exámenes. Si nos referimos a la situación previa de la aparición del GPT, el caso estaba acotado al uso de literatura referenciada por la catedra y a otra no autorizada en el examen, o bien al intercambio de información entre alumnos, actitudes no nuevas para todo docente. El uso del GPT sin embargo propone nuevos desafíos, la resolución automática de las problemáticas planteadas tanto en la dimensión lingüística como de programación de código, es en este sentido que la valoración ética surge en su rol preponderante, no en un carácter prohibitivo del uso del GPT, sino por lo contrario en su uso formativo y responsable como soporte tecnológico ya establecido.

Es necesario que el cuerpo docente de las unidades académicas debarecibir capacitación acerca de los avances de la Inteligencia Artificial, y específicamente de Lenguajes Generativos como ChatGPT, dada la difusión que recibe cuyas estadísticasmuestran“Viscaya (2023)”y “MIT (2023)”, las cuales exponen este presente en donde los estudiantes hacen uso del mismo y requiere de una guía y supervisión para un mejor uso, que no sea solo copiar y pegar en sus trabajos (Figura 2 y Figura 3).

Los docentes deben brindar capacitación sobre las normas éticas que rigen las tareas áulicas,

regulando las normas de comportamiento para normal desarrollo del proceso de enseñanza.

En este ámbito, se debe propiciar un ambiente de discusión en el que los docentes puedan reflexionar acerca de valores y principios éticos, estableciendo un código que respete las normas, los derechos de autor, la privacidad y confidencialidad, no permitiendo la discriminación por motivos de razas, genero, orientación sexual, o cualquier otra característica. Son esencialmente criticas la promoción de la supervisión y el apoyo en la relación docente/alumno, tal que permita el cumplimiento de las normas éticas establecidas, y que facilite la realimentación de las normas.

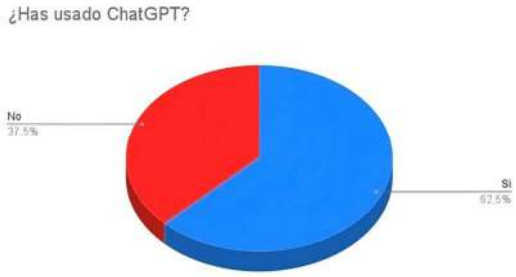


Figura 1: Encuesta de uso de ChatGPT. Viscaya

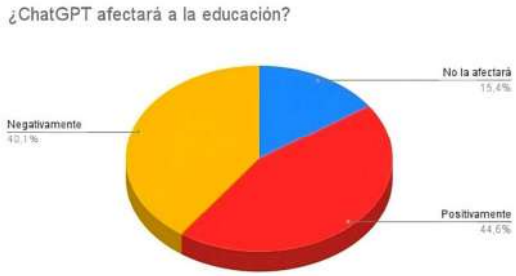


Figura 2: Encuesta de Impacto de ChatGPT. Viscaya

2.2. *Enfoque Éticodel proceso de incorporación o rechazo al uso de nuevas técnicas de Inteligencia Artificial*

Algunos aspectos a trabajar, desde un enfoque ético, se basan en criterios:

I. *Autenticidad e Integridad*: informar a los estudiantes sobre el uso de Lenguaje Generativo (ChatGPT) en el aula, capacitando a los alumnos acerca de cómo funciona y para qué se va a utilizar. Se debe ser transparente acerca de las posibles limitaciones de esta tecnología, del sesgo de sus respuestas y de la existencia potencial de errores en las respuestas.

II. *Garantizar la privacidad:*es crucial tomar medidas para proteger la privacidad de los estudiantes, situación por demás critica con la llegada de APIs que bajo una fachada de GPT, tienen por principal funcionalidad la recopilación ilegal de datos de los usuarios, sin que exista el consentimiento explícito.

III. *Evitar la discriminación:*esto puede lograrse mediante la implementación de controles de calidad y la revisión de los datos de entrenamiento para identificar y corregir posibles prejuicios.

IV. *Fomentar los ámbitos para la reflexión ética:*en donde los estudiantes reflexionen sobre las implicaciones éticas del uso de ChatGPT en la educación, el mercado comercial/industrial y el ámbito laboral.

V. *Supervisión y monitoreo:* Es importante que el uso de ChatGPT en el aula sea supervisado y monitoreado para asegurar que se cumplan los estándares éticos, incluyendo la revisión de las conversaciones generadas por ChatGPT y la retroalimentación de los estudiantes.

El uso de nuevas herramientas de inteligencia artificial plantean un desafío que puede resultar muy útil en el aula para guiar el estudio de temas, brindando ayuda al estudiante en el estudio y comprensión del material, completando el proceso de aprendizaje.

Considerando la incorporación de estas herramientas, debemos tener en claro que deberemos reexaminar y actualizar tanto nuestra estrategia áulica como las herramientas de evaluación a nuestro alcance, adaptándonos a los cambios tecnológicos, dentro de un contexto de nuevas herramientas y habilidades que debemos incorporar.

Es necesario abordar la dicotomía existente entre los estudiantes que cuenten con recursos suficientes (tecnológicos, habilidades o

conocimiento) y los que no, de manera de coordinar acciones formativas para que el estudiante que se incorpore a las cátedras que usen estos herramientas, estén en igualdad de condiciones.

3. INCORPORACIÓN DE HERRAMIENTAS DE PROCESAMIENTO DE LENGUAJE NATURAL (NLP) EN LA ASIGNATURA INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA)

3.1. *Es posible desarrollar una empresa a partir de las nuevas herramientas de IA. Quitar el trabajo a empleados o potenciar su trabajo.*

La Inteligencia Artificial ha demostrado contar con recursos suficientemente visibles en tecnologías emergentes y disruptivas, las cuales pueden impulsar la eficiencia y productividad de los empleados de diversas actividades económicas (productivas, de servicios, etc).

Si analizamos el impacto en el mercado laboral, disponemos de dos enfoques: automatizar tareas o potenciar las capacidades de los empleados. El primer enfoquepropone desarrollar procesos inteligentes que reemplacen a los seres humanos en procesos rutinarios o repetitivos, además de incrementar el tiempo de trabajo a partir de los beneficios 24x7 que tienen estas tecnologías. El segundo enfoque busca capacitar en el uso de herramientas para lograr capacidades mejoradas. En este caso, los asesores virtuales permiten resolver consultas a problemas comunes.
Nos encontramos en medio de un gran desafío ético, el cual nos conducirá a una reevaluación y reasignación de las habilidades de los empleados para que puedan trabajar en conjunto con las tecnologías emergentes, o bien a reemplazarlos.

3.2. *Enunciado de un problema para la Evaluación Parcial de la Asignatura Inteligencia Artificial (IA), 4to. Año, de la Carrera de Ingeniería en Computación, FACET-UNT*

Con el fin de abordar la problemática social, originada en el dilema de reemplazar empleados o potenciar su tareas laborales, se elaboró una propuesta áulica basada en la creación de una empresa digital, utilizando a tal fin herramientas de IA basadas en la utilización de Prompts ingresados a ChatGPT y cuya salida permitan generar los prompts de otras herramientas inteligentes (por ejemplo crear una página web con el código de implementación y sus contenidos a partir de la información provista por ChatGPT). La consigna basada en la creación de una empresa requirió de una interacción vertical de contenidos con la catedra de Administración de Proyectos #15-E69, quienes brindaron una ponencia y posterior relevamiento conceptual que permitiera abordar las siguientes fases del proceso:

I. *Elaboración de una idea de empresa a crear. Debe considerar la posibilidad de hacer el análisis de requerimientos de una empresa del mundo real o virtual, que les permita perfeccionar la suya.*

II. *Creación de una empresa, basándonos en una idea simple de negocio, incorporando conceptos y recomendaciones obtenidas en la ponencia de la catedra de Administración de Proyectos. El producto debe garantiza que se podrá hacer un control de calidad,*

III. *Montar un plan de negocio y marketing, en un Portal web usando para ello programación en HTML y CSS.l*

IV. *Crear las imágenes de la marca de la empresa creada.*

V. *Crear una voz en off personalizada para un vídeo promocional.*

VI. *Generar animaciones usando la herramienta de avatares para crear un vídeo.*

VII. *Crear una campaña publicitaria completa en redes sociales con la que promocionar su nueva empresa.*

VIII. *Cada grupo cree una empresa diferente, con diferentes productos y Know-How.*

IX. *Se debe tener en cuenta cuales de estas se van a utilizar en función de las necesidades, analizarlas y describirlas. Se debe generar un informe del estado actual de las herramientas de IA utilizadas para implementar el plan, y la*

funcionalidad utilizada en cada una de las fases del Trabajo.

X. *En la elaboración de conclusiones, deben analizarse cuestiones éticas y el impacto de la IA en el mercado laboral, dado que este Trabajo Integrador que usa IA, podría provocar perdidas de fuentes de trabajo de profesionales de las diferentes áreas (programadores, diseñadores gráficos, redactores de contenidos, analistas de datos, etc). Deberá explicar:*

   a. Como mejorar las tareas sin participación humana.

   b. Como potenciar sus tareas y roles de los profesionales de cada área, o bien reducir su carga laboral.

XI. En la elaboración de conclusiones, deben analizarse cuestiones éticas y el impacto de la IA en el mercado laboral.

3.3. Información complementaria

La charla dictada por el la Catedra de Administración de Proyectos, Carrera de Ingeniería en Computación, FACET-UNT, abordará temas relacionados con la ejecución de un plan de negocios y empresa. Cada Grupo se deberá elegir un producto a partir del cual se deberá montar un plan de negocio y marketing.
Los resultados obtenidos seguramente no estén exentos de fallas, además en el estado actual de la IA, estamos seguros de que los humanos podrían haberlo hecho mejor, lo que si sabemos con seguridad es que estos nunca podrían haber sido tan rápidos.
Para realizar este tipo de implementación del plan de negocios para el producto elegido hubiéramos necesitado de un equipo de varias personas trabajado durante días.
En otras palabras: ese equipo no sería necesario y se quedaría sin empleo porque, sencillamente, puede ser perfectamente suplantados por la IA. Quizás no completamente con esta generación, pero sí en la siguiente, al ritmo en que están evolucionando estas herramientas.
¿Con la tecnología emergente y la rápida evolución de la IA, es posible que lo dicho anteriormente pueda ocurrir? ¿Un día las empresas puedan ser creadas completamente por la IA sin intervención humana?
Elabore conclusiones respecto a esto que formen parte de las conclusiones generales del trabajo.

3.4. Defensa y presentación del trabajo.

El Trabajo Integrador fue defendido en sesión pública por seis grupos, en donde se presentará el producto terminado y funcional. El tiempo previsto para la presentación es de 15 minutos + 5 minutos de preguntas de los evaluadores.
Los grupos dispondrán de los recursos áulicos de proyector, presentador/puntero laser, pizarra y elementos para la pizarra.

3.5. Resultados obtenidos

Entre los resultados obtenidos de estos trabajos se destacan:

- A partir de la información obtenida con la charla descripta en el punto 3.3 de información complementaria, se reconocieron y desarrollaron etapas del plan de negocios
- Cantidad de herramientas consultadas o utilizadas: cada grupo realizo en promedio la elección de al menos 4 a 6 aplicaciones de IA considerando una para cada una de los ítems solicitados en el enunciado (diseño del logo, página web, generación de video y voz, contenido para redes sociales), destacándose o teniendo como eje central ChatGPT 3.5, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Herramientas utilizadas.

Utilidad	**Herramientas**	**Usos por grupo**
Diseño de logo	Dall-e Logomaker Brandmark Looka.com	1 2 2 1
Página web	Github copilo ChatGpt 3.5 MixPortal	1 4 1
Generación de video	Synthesia Design.ai Proctory AI Lumen	2 2 1 1
Redes sociales	Leonardo	1

	Cariyon ChatGpt 3.5 Copy AI	1 3 1
Generación de voz	Fakeyou Desing.ai Speaktor ChatGpt 3.5	1 2 1 2
Contenido de redes sociales	ChatGpt 3.5 Bard	4 1

La distribución del uso de las herramientas basadas en IA por parte de los gruposermitió condensar la información en la siguiente nube de conceptos (Figura 3).

Figura 3: Nube de herramientas de IA utilizadas para la resolución del Proyecto Integrador.

Esta imagen se usó en la última fase del proyecto a la cual denominamos Reunión de Consistencia, encuentro en el que los docentes y estudiantes se reunieron para revisar y analizar su comprensión y enfoque sobre los proyectos presentados. Durante esta reunión, se discutieron los objetivos, las metas, los recursos necesarios y las estrategias que siguieron para garantizar que la integración de conocimientos y determinar el real impacto de las herramientas de IA en el producto y mercado laboral actual. Asimismo, se intercambiaron opiniones acerca del impacto en la información o desinformación que producen estas herramientas (Figura 4).

Figura 4: Encuesta de calidad de información de ChatGPT. Viscaya

Las principales dificultadesque detectaron los Estudiantes se fundaron en:

- Dificultad en la obtención de resultados óptimos o deseados a partir de que estas aplicaciones presentan en su versión free muchas limitaciones que en sus respectivas versiones pro podrían haber otorgados resultados más satisfactorios a nivel de producción.

- Planteo de la búsqueda de información: el uso de prompts determino la forma en se obtuvo la información de las aplicaciones, es decir del uso, de la calidad y el nivel de conocimientos incorporados en estos es que se obtiene la información. Así, no se obtienen los mismos resultados con un prompt en lenguaje natural de alguien inexperto con el que podría generar un profesional colocándose en su respectivo rol.

- En las conclusiones presentadas se destacó, por ejemplo, que además de la búsqueda para el armado de una página web se debía ir optimizando el código devuelto o bien se debía ir generando de forma parcial. La cantidad de horas hombres empleadas es menor con la asistencia de estas herramientas.

4. CONCLUSIONES

El principal riesgo se basaen mala calidad de la información recibida (BROOKS), fruto del continuo lanzamiento de herramientas basadas en IA durante 2023, cuyo principal exponente en

estos días son los Lenguajes que cuentan con una arquitectura GPT (Generative Pre-trainedTransformer), entrenados con grandes cantidades de datos textuales recolectados de Internet, para aprender patrones y estructuras del lenguaje humano, que llevando a cabo una simulación de conversación, no logran una comprensión profunda o con conciencia propia en las respuestas. Es indispensable detectar los erroresque presentan estas conceptos recuperados de estos modelos, contrastándolos con otras fuentes de información o herramientas.

La poca o nula referenciación de conceptos de Autores de estas herramientas, genera un escenario de ausencia de Referencias concretas de los autores de las teorías, provocando desinformación tal como lo manifiesta (MARTELL) "ChatGPT ha sido entrenado para expresarse con fluidez. Habla con fluidez y autoridad, lo que influye en su estado de verdad, incluso cuando son incorrectos. Y eso significa que es una herramienta perfecta para la desinformación...,realmente necesitamos herramientas para poder detectar cuándo está sucediendo eso y poder advertir cuando eso está sucediendo, y hoy no tenemos esas herramientas".

Es fundamental gestionar los recursos necesarios para Facilitar la Equidad, en cuanto al acceso a la conocimiento, proporcionando explicaciones y respuestas a preguntas complejas, de manera sencilla y clara, para estudiantes que tengan dificultades para entender ciertos conceptos. (falencias en la comprensión de textos).

Finalmente, la inequidad en el acceso al conocimiento para aquellos estudiantes que no tengan acceso a la tecnología (computadoras, energía eléctrica, conectividad, etc.), o que no estuvieran familiarizados con las nuevas técnicas de IA. Las instituciones académicas deberían garantizar el acceso a estas herramientas, brindando los recursos tecnológicos y pedagógicos necesarios.

En el contexto áulico, pueden servir de soporte al PEA pero con una debida capacitación de docentes, un código de ética claro entre docentes y alumnos, y el fortalecimiento del pensamiento crítico de los alumnos al momento de obtener respuestas de las herramientas.

5. REFERENCIAS

BROOKS R. (2021). "An Inconvenient Truth About AI. AI won't surpass human intelligence anytime soon". IEEE Spectrum. https://spectrum.ieee.org/rodney-brooks-ai

MARTELL C. (2023). "Pentagon chief AI officer 'scared to death' of potential for AI in disinformation". Breaking Media, Inc. https://breakingdefense.com/2023/05/pentagon-chief-ai-officer-scared-to-death-of-potential-for-ai-in-disinformation/.

OpenAIhttps://open.ai/

Viscaya A. (2023). Fullanchor https://fullanchor.com/estudio-y-encuesta-sobre-chatgpt/

MIT Technology Review, W.D. Heaven, 2023, "OpenAI's new language generator GPT-3 is shockingly good—and completely mindless", MIT Technology Review, https://www.technologyreview.com/2020/07/20/1005454/openai-machine-learning-language-generator-gpt-3-nlp/

https://www.businessinsider.es/habilidades-humanas-inteligencia-artificial-nunca-podra-sustituir-1222524?utm_content=bufferecd2b&utm_medium=Social&utm_source=Facebook&utm_campaign=BI&fbclid=IwAR2tEuS5ZZunOp7W7px-AHBU5nQ30pkCcs54GEN2IPjjk3wpIvgfWe3DiBc&mibextid=Zxz2cZ

https://www.instagram.com/reel/CqJJTZvD_N3/?igshid=YmMyMTA2M2Y%3D

https://www.instagram.com/reel/Cn8spoQo41C/?igshid=YmMyMTA2M2Y%3D

Duración real de las carreras de Ingeniería de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán

Paz, Ana Sofía[1]; Sfer,Ana M.[1]

(1) Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán.
sofiapaz476@gmail.comasfer@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN

Cuando de ciencias duras se trata, la duración de las carreras, en especial las de ingeniería, es un tema que siempre resulta de interés. Este tema suele estar bajo análisis, debido a que generalmente un alumno promedio presenta una duración real de la carrera mayor a la indicada por el plan de estudio. En este trabajo se propone cuantificar la duración real de todas las carreras de ingeniería de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología (FACET), de la Universidad Nacional de Tucumán, considerando que es necesario conocer la realidad en la que está posicionada la unidad académica, para así poder tomar acciones que mejoren sus indicadores.

Con base en el estudio de 11 carreras cursadas por los 1417 egresados de la FACET que ingresaron a la institución a partir del año 2000, pudo determinarse que la duración media de cada carrera es, cuando menos, 1.5 veces la duración según plan de estudio. Hay carreras con alumnos cuyo cursado se extiende hasta casi tres veces el tiempo planificado. Además, el comportamiento de cada carrera es diferente y no admiten un análisis conjunto.

ABSTRACT

In the careers of hard sciences, the duration of them, especially engineering, is always a topic of interest. This subject is usually under analysis, because generally an average student presents a real duration of the career greater than that indicated by the study plan. In this work, it is proposed to quantify the real duration of all engineering careers of the Faculty of Exact Sciences and Technology (FACET), of the National University of Tucumán, considering that it is necessary to know the reality in which the academic unit is positioned, in order to be able to take actions that improve their indicators.

Based on the study of 11 careers completed by 1417 graduates who entered the institution from the year 2000, it was possible to determine that the average duration of each career is, at least, 1.5 times the duration according to the study plan. There are careers with students whose coursework extends up to up to almost three times than planned. In addition, the behavior of each career is different and does not admit a joint analysis.

Palabras claves: índice - duración real - egresados.

Keywords: index - actual duration – graduates

1. INTRODUCCIÓN

Los estudios sobre la duración de las carreras universitarias, suelen arrojar resultados poco alentadores, tales como que las duraciones según plan de estudio son raramente cumplidas. Entonces, es importante conocer cuantitativamente la realidad académica de la FACET, en búsqueda de la calidad y excelencia que una alta casa de estudios debe poseer.

En este trabajo se analizan descriptivamente los datos de egresados desde el año 2003 hasta el año 2019. La base de datos original se solicitó a la Secretaria Académica, e inicialmente se componía de 3771 egresados de la institución,

que ingresaron entre los años 1963 y 2016 inclusive. De la oferta académica de la FACET, que incluye carreras tales como Ingenierías, Licenciaturas, Diseño de Iluminación y Tecnicaturas, fueron consideradas para realizar este trabajo únicamente las Ingenierías.

Además de las carreras concluidas por cada egresado, la base contaba con otros múltiples datos: año del plan de estudios, apellido y nombre, sexo, fecha de nacimiento, documento, domicilio, teléfono, provincia, localidad, e-mail, fechas de ingreso a la facultad, de ingreso al plan y de egreso, duración de la carrera, duración real, promedio de la carrera y promedio real. Puesto que muchos de estos datos no contribuían al objeto de estudio, fueron desestimados. Por otro lado, fue necesario seleccionar un intervalo de tiempo acorde con los objetivos del trabajo, es por ello que se consideraron únicamente los alumnos ingresantes a partir del año 2000 y con planes superiores al año 1995. Sobre esto último, quedaron exceptuadas las ingenierías con modificaciones y actualizaciones. De esta manera se obtuvo la base definitiva bajo estudio, compuesta por los 1417 alumnos egresados de las 11carreras de ingeniería dictadas por la FACET.

2. ANÁLISIS DESCRIPTIVO

La distribución por carrera de los 1417 alumnos se muestra en la tabla 1. Es importante destacar que el número de egresados está muy relacionado con el número de ingresantes. La carrera Ingeniería Industrial es la que hace muchos años tiene el mayor número de ingresantes. Por esta razón, es la que mayor representatividad tiene en nuestra base, alcanzando un 21 % de la misma con 301 alumnos egresados. Hay carreras que desde 2003 a 2019 han tenido muy pocos egresados, tales como Ingeniería Geodésica y Geofísica e Ingeniería Azucarera, con 3 y 4 egresados respectivamente.

Tabla 1. Cantidad de egresados de la FACET desde el año 2003 al 2019, por carrera.

Carrera	**Cantidad de egresados**	**%**
Agrimensura	15	1
IngenieríaAzucarera (Ing. Azucarera)	4	0.3
IngenieríaBiomédica (Ing. Biomédica)	132	9
Ingeniería Civil (Ing. Civil)	202	14
IngenieríaEléctrica (Ing. Eléctrica)	31	2
IngenieríaElectrónica (Ing. Electrónica)	207	15
Ingeniería Geodésica y Geofísica (Ing. G. y G.)	3	0.2
Ingeniería Industrial (Ing. Industrial)	301	21
IngenieríaMecánica (Ing. Mecánica)	146	10
IngenieríaQuímica (Ing. Química)	167	12
Ingeniería en Computación (Ing. en Comp.)	209	15
Total	1417	100

Puesto que el objetivo de este trabajo es estimar la duración real de las carreras, se muestran en la tabla 2 los estadísticos descriptivos de la duración real de las carreras en meses. El orden, de izquierda a derecha, es el siguiente: nombre de cada carrera, cantidad de egresados en el período observado, duración según plan de estudio, y de la duración real de la carrera se indica: duración promedio, desvío estándar, mínimo, percentil 25, mediana, percentil 75 y máximo.

Todas las carreras presentan una duración promedio real mucho mayor a la duración según plan de estudio (observar las columnas DUR y MEDIA); exceden en al menos un 50 % al tiempo establecido para ser terminada.

Tabla 2. Estadísticos descriptivos de la duración real de las carreras, en meses.

Carrera	n	DUR	MEDIA	σ	MÍN	P25	P50	P75	MÁX
Agrimensura	15	60	95	21	59	82	90	105	146
Ing. Azucarera	4	60	174	29	133	165.2	182	191	200
Ing. Biomédica	132	60	113	28	66	92	105.5	137	203
Ing. Civil	202	66	107	27	62	91	104	122	227
Ing. Eléctrica	31	60	114	22	83	102	107	128	174
Ing. Electrónica	207	60	99	25	54	80	95	116	175
Ing. G. y G.	3	60	100	18	80	91.5	103	110	116
Ing. Industrial	301	60	101	25	62	83	96	116	188
Ing. Mecánica	146	60	108	30	66	87	100	124	212
Ing. Química	167	60	105	26	60	83	102	121	187
Ing. en Comp.	209	54	107	32	52	84	104	128	215

En la siguiente tabla se muestran dos indicadores de duración de carrera, que llamamos I1 e I2, siendo:
I1 = duración real promedio/duración según plan de estudio
I2 = P50 de la duración real/duración según plan de estudio.

Tabla 3. Indicadores I1 e I2 de la duración real de las carreras.

Carrera	n	I1	I2
Agrimensura	15	1.58	1.50
Ing. Azucarera	4	2.90	3.03
Ing. Biomédica	132	1.89	1.76
Ing. Civil	202	1.63	1.58
Ing. Eléctrica	31	1.90	1.78
Ing. Electrónica	207	1.65	1.58
Ing. G. y G.	3	1.66	1.72
Ing. Industrial	301	1.69	1.60
Ing. Mecánica	146	1.79	1.67
Ing. Química	167	1.74	1.70
Ing. en Comp.	209	1.99	1.93

De la tabla 3 se observa que las carreras con mejores índices son Agrimensura, Ing. Civil e Ing. Electrónica. Todas ellas con índices I1 e I2 de a lo sumo 1.65.
A fines de comparar el comportamiento de las carreras según sus duraciones, se define un indicador para cada alumno egresado de la siguiente manera:

Índice = duración real de la carrera/duración según plan de estudio

Este indicador hace que las carreras sean comparables a nivel duración. En la tabla 4 se muestran los estadísticos descriptivos de este Índice. El orden de la misma, de izquierda a derecha, es el siguiente: carrera, cantidad de alumnos, media, desvío, mínimo, percentil 25, mediana, percentil 75 y máximo.

Tabla 4. Estadísticos descriptivos del Índice, duración real de la carrera/duración según plan de estudio.

CARRERA	n	MEDIA	DESVÍO	MÍN	P25	MEDIANA	P75	MÁX
Agrimensura	15	1.58	0.36	0.98	1.37	1.5	1.75	2.43
Ing. Azucarera	4	2.91	0.49	2.22	2.75	3.03	3.18	3.33
Ing. Biomédica	132	1.89	0.47	1.1	1.53	1.76	2.28	3.38
Ing. Civil	202	1.63	0.41	0.94	1.38	1.58	1.85	3.44
Ing. Eléctrica	31	1.89	0.37	1.38	1.7	1.78	2.13	2.9
Ing. Electrónica	207	1.65	0.41	0.9	1.33	1.58	1.93	2.92
Ing. G. y G.	3	1.66	0.31	1.33	1.52	1.72	1.83	1.93
Ing. Industrial	301	1.69	0.42	1.03	1.38	1.6	1.93	3.13
Ing. Mecánica	146	1.79	0.54	1.1	1.45	1.67	2.01	3.53
Ing. Química	167	1.74	0.43	1	1.38	1.7	2.01	3.12
Ing. en Comp.	209	1.99	0.59	0.96	1.56	1.93	2.37	3.98

En la tabla 4 podemos observar que la media de la variable Índice en todas las carreras, es mayor a 1.5. Esto significa que todas las carreras tienen una duración real que excede en al menos un 50% a su duración según plan de estudio. Esto evidencia que, en promedio, los alumnos de todas las carreras se demoran en graduarse, como mínimo, un 50 % más del tiempo esperado.

La Fig. 1 ilustra los valores resumidos en la tabla 4. En la misma se muestran los diagramas tipo caja del Índice para todas las ingenierías de la FACET.

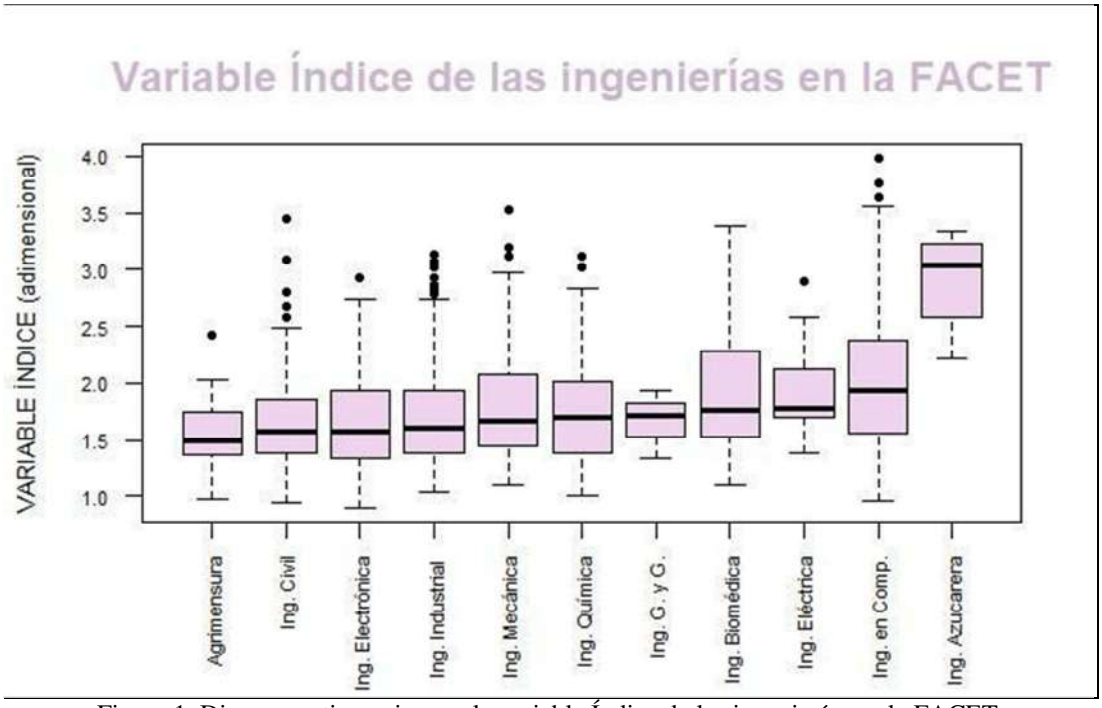


Figura 1. Diagramas tipo caja para la variable Índice de las ingenierías en la FACET.

Se observa que casi todas las carreras presentan valores alejados por exceso. Todas tienen una dispersión moderada y, la mayoría, una asimetría positiva. Es decir, hay mayor dispersión desde la mediana hacia valores máximos que en sentido contrario. Esta característica manifiesta que la duración de las carreras es mucho mayor que la indicada por el plan de estudio, para casi todas las carreras.

Si se observa la escala de los gráficos, podemos ver que el 50% de los alumnos egresa en aproximadamente 1.5 veces el tiempo planificado, pero en algunos casos este tiempo alcanza a 3 o 4 veces el planificado.

3. ANÁLISIS INFERENCIAL Y RESULTADOS

Como el objetivo del estudio era saber si la duración real de las carreras coincide con la duración según plan de estudio, se realizaron test de hipótesis para la variable Índice para cada carrera. Las hipótesis contrastadas fueron de la forma:

H_0: Índice=1
H_1: Índice ≠1
Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 5.

Tabla 5: Resultados de los test de hipótesis para la media del indicador Índice, por carrera.

Carrera	Índice promedio	Estadístico	Valor p	Decisión
Agrimensura	1.58	6.34	$< 1 \times 10^{-4}$	Rechazo
Ing. Azucarera	2.90	7.83	0.004	Rechazo
Ing. Biomédica	1.89	21.63	$< 1 \times 10^{-15}$	Rechazo
Ing. Civil	1.63	22.05	$< 1 \times 10^{-15}$	Rechazo
Ing. Eléctrica	1.90	13.49	$< 1 \times 10^{-13}$	Rechazo
Ing. Electrónica	1.65	22.79	$< 1 \times 10^{-15}$	Rechazo
Ing. G. y G.	1.66	3.77	0.064	Acepto
Ing. Industrial	1.69	28.5	$< 1 \times 10^{-15}$	Rechazo
Ing. Mecánica	1.79	18.99	$< 1 \times 10^{-15}$	Rechazo

Ing. Química	1.74	22.43	$< 1 \times 10^{-15}$	Rechazo
Ing. en Comp.	1.99	24.16	$< 1 \times 10^{-15}$	Rechazo

De la tabla 5 podemos observar que en todas las carreras, excepto Ingeniería Geodésica y Geofísica, el valor p obtenido condujo al rechazo de la hipótesis nula. Esto significa que en todas ellas el Índice es estadísticamente diferente de 1. A partir de los estadísticos descriptivos mostrados en la tabla 4, es claro que el Índice es mayor que 1. Lo que reafirma que la duración real de las ingenierías es mayor que la duración según plan de estudio.

Puesto que el indicador Índice hace que las carreras sean comparables a nivel duración, sin importar cuál sea la duración particular de cada una, realizamos un análisis de la varianza (ANOVA) para la variable Índice considerando como factor la carrera. El resultado se muestra en la Fig. 2

```
> fm = aov( lm(ingenierias$INDICE ~ ingenierias$CARRERA) )
> summary(fm)
                     Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
ingenierias$CARRERA   10  27.23  2.7228   12.88 <2e-16 ***
Residuals           1406 297.23  0.2114
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Figura 2. Resultado del ANOVA para el indicador Índice.

El resultado del ANOVA indica que el promedio del Índice es diferente según la ingeniería. Sin embargo, este resultado solo se puede tomar a título informativo, ya que el diagnóstico del mismo advierte que no se cumplen completamente los supuestos para validar este análisis.

Bajo estas condiciones, se decidió realizar la prueba no paramétrica de Kruskal y Wallis usando el programa estadístico Minitab. La prueba determina si alguna de las medianas es diferente. Específicamente, las hipótesis contrastadas son las siguientes:

H_0: Las medianas de la duración de todas las carreras son iguales.

H_1: Al menos una mediana de la duración de las carreras es diferente.

El resultado obtenido fue similar al del ANOVA: las medianas del Índice no son las mismas para todas las carreras.

Prueba

Hipótesis nula H0 Todas las medianas son iguales

Hipótesis alterna H1 Al menos una mediana es diferente

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	10	91,58	0,000
Ajustado para empates	10	91,60	0,000

La aproximación de chi-cuadrada podría no ser exacta cuando algunos tamaños de muestra sean menores que 5.

Figura 3. Resultado del test de Kruskall y Wallis para el indicador Índice

A continuación, se muestran en la tabla 6 los intervalos de confianza para la media y mediana de la variable Índice por carrera.

Tabla 6: Intervalos del 95% de confianza para la media y mediana de la variable Índice, por carrera.

Carrera	**Media**	**Mediana**
Agrimensura	(1.39, 1.78)	(1.36, 1.75)
Ing. Azucarera	(2.13, 3.68)	(2.22, 3.33)
Ing. Biomédica	(1.81, 1.97)	(1.69, 1.88)
Ing. Civil	(1.57, 1.68)	(1.53, 1.64)
Ing. Eléctrica	(1.76, 2.03)	(1.73, 1.93)
Ing. Electrónica	(1.59, 1.71)	(1.52, 1.65)
Ing. G. y G.	(0.91, 2.42)	(0.91, 2.42)
Ing. Industrial	(1.64, 1.74)	(1.53, 1.67)
Ing. Mecánica	(1.71, 1.87)	(1.53, 1.73)
Ing. Química	(1.68, 1.81)	(1.60, 1.73)
Ing. en Comp.	(1.91, 2.07)	(1.87, 2.02)

Los promedios de la variable Índice y sus intervalos de confianza, contenidos en la tabla 6, pueden visualizarse en la Fig. 4

.

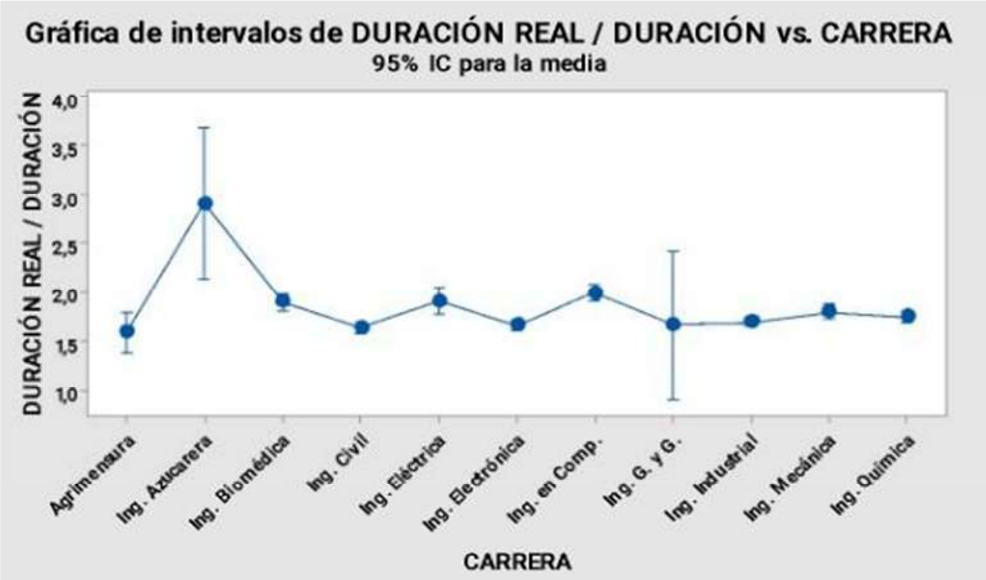


Figura 4. IC del 95 % de confianza para la media del indicador Índice para las ingenierías de la FACET.

De la Fig. 4 se observa que los intervalos de confianza para la variable Índice son diferentes y algunas carreras tienen una varianza grande, como Agrimensura e Ing. Geodésica y Geofísica, esta condición impide un análisis conjunto de los mismos.

4. CONCLUSIÓN

Se ha considerado un total de 1417 egresados de las 11 carreras de ingeniería que dicta la FACET, con ingreso a la misma desde el año 2000 en adelante. La mayor participación de las carreras en la base, es de las carreras más numerosas al momento del ingreso: Ing. Industrial (21%). Le siguen Ing. en Computación y Electrónica (15%) e Ing. Civil (14%).

La duración media de todas las carreras es por lo menos 1.5 veces la duración según plan de estudio. Es notable que casi todas las carreras tienen valores alejados que llegan hasta 4 veces el tiempo planificado para su cursado. Se comparan las carreras en cuanto a su duración mediante un Índice igual a la razón entre la duración real y duración según plan de estudio. En la comparación global todas las carreras son diferentes, lo que no permite realizar un análisis conjunto. Es decir, esta condición en el comportamiento de las carreras impide especificar un único intervalo de confianza en el que se encuentre el Índice promedio de todas las carreras. Sin embargo, podemos destacar que, en la comparación de intervalos, la carrera de Agrimensura es la mejor en este sentido, con un Índice promedio en el intervalo (1.39, 1.78). Esto significa que en promedio un alumno de Agrimensura tarda entre 83 y 107 meses en terminar la carrera.

La base de datos en formato xlsx con la que se trabajó puede encontrarse en: https://docs.google.com/spreadsheets/d/1PJ5xPajWfMIIFqe1W2ue2rsFIlC0PxiF/edit?usp=share_link&ouid=114222886150623850343&rtpof=true&sd=true

El código R para obtener los boxplots, resultados de test de hipótesis y ANOVA utilizados en este trabajo puede leerse en: https://drive.google.com/file/d/1rKVsrSEtuTqwXgVXBg71jquTek0sSa-M/view?usp=share_link

5. AGRADECIMIENTOS

A la Secretaria Académica de la FACET, Ing. María Fernanda Guzmán, por su disposición para facilitarnos la base de egresados.

6. REFERENCIAS

De Groot, Morris H. (1975). Probabilidad y Estadística. Addison Wesley Iberoamericana.

Mendenhall, W. y Beaver, R. (2010). Introducciòn a la probabilidad y estadística.

Meyer, Paul L. (1998). Probabilidad y Aplicaciones Estadísticas. Addison Wesley Iberoamericana.

Minitab® Statistical Software. Versión libre por 30 días. URL: www.minitab.com.

Paz, A. S. (2023) “Test de hipótesis”. Tesis. Licenciatura en Matemática. Universidad Nacional de Tucumán, en trámite de aprobación.

R Core Team (2020). R: A language and environment for statisticalcomputing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna,Austria. URL https://www.R-project.org/.

Walpole, R. E. y Myers, R. H. (1996). Probabilidad y Estadística. Mc Graw-Hill.

Walpole R. E, Myers R. H.,Myers S.L. y Ye, K. (2012). Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias.

Explorando la complejidad del currículum de dos carreras de ingeniería mediante la teoría y la visualización de grafos.

Paz, Hugo Roger[1]; Cinquemani, Carla[1]; Rivero, Valeria Irina[1]; Donaire Burgos, Martín Jorge[1]; Cardozo, María Teresa[1]

(1) Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán.
hpaz@herrera.unt.edu.ar; ccinquemani@herrera.unt.edu.ar;
vrivero@herrera.unt.edu.ar; mjdonaireburgos@herrera.unt.edu.ar;
tcardozo@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN

En este artículo se presenta el análisis de dos planes de estudio de carreras de ingeniería ofrecidas en la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología (FACET) de la Universidad Nacional de Tucumán (UNT), utilizando técnicas de análisis de sistemas complejos. Para representar estos sistemas complejos se aplicó la teoría de grafos. Los resultados del análisis revelaron la presencia de heterogeneidad en el diseño de los prerrequisitos de cursado de asignaturas, una preponderancia de ciertas disciplinas específicas sobre otras, así como una rigidez en la estructura de los planes de estudio. Estos aspectos podrían estar relacionados con la tasa de deserción estudiantil y el desgranamiento que se observa en las carreras analizadas. Como conclusión, se destaca la utilidad de estas herramientas para descubrir patrones y relaciones que de otra manera podrían permanecer ocultos. Este tipo de análisis puede ser aplicado tanto en la etapa de diseño de un nuevo plan de estudios como para detectar problemas existentes en un plan de estudios ya implementado, como es el caso de los planes analizados en este trabajo.

ABSTRACT

This article presents the analysis of two engineering degree programs offered at the Faculty of Exact Sciences and Technology (FACET) of the National University of Tucumán (UNT), using complex systems analysis techniques. Graph theory was applied to represent these complex systems. The results of the analysis revealed the presence of heterogeneity in the design of prerequisite courses, a preponderance of certain specific disciplines over others, as well as rigidity in the structure of the degree programs. These aspects may be related to the student dropout rate and attrition observed in the analyzed degree programs. In conclusion, the utility of these tools for uncovering patterns and relationships that may otherwise remain hidden is highlighted. This type of analysis can be applied both in the design phase of a new degree program and to identify existing problems in an already implemented degree program, as is the case with the programs analyzed in this work.

Palabras claves: curriculum- ingeniería - sistemas complejos - teoría de grafos Keywords: curriculum- engineering - complex systems - graph theory

1. INTRODUCCION

Las carreras de ingeniería civil e ingeniería mecánica de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología (FACET) de la Universidad Nacional de Tucumán (UNT) se enfrentan a un preocupante problema de desgranamiento y abandono estudiantil. Identificar las posibles causas o motivos que contribuyen a esta situación puede ser un primer paso para proponer soluciones que permitan morigerar estos problemas.

La investigación en educación superior y temas afines como el currículo, la formación, la didáctica, la pedagogía han sido tema de interés investigativo a nivel mundial en las últimas décadas.

En la mayoría de los enfoques presentados por los autores en los artículos de investigación, existen tres tendencias que indican el tratamiento del núcleo conceptual de la educación superior en cada escrito. Estas tendencias son: la investigación curricular como concepto, propuestas de alternativas curriculares encaminadas al mejoramiento institucional y la evaluación curricular.

En cuanto a la evaluación curricular, se destaca la preocupación por “determinar si su diseño, desarrollo e implementación está produciendo los resultados esperados” (Luengo Navas et al., 2008, p 57) a fin de que se concreten transformaciones posibles que mejoren los procesos de formación y de gestión curricular.

Una de las últimas tendencias en investigación y evaluación curricular son las relacionadas a la utilización de técnicas de minería de datos y se categorizan como Educational Data Mining (EDM) y Learning Analytics (LA). Esta última puede definirse como la medición, recolección, análisis y reporte de datos sobre los alumnos y sus contextos, con el fin de comprender y optimizar el aprendizaje y los entornos en los que se desarrolla (Lang et al., 2017).

Existen muchas formas de realizar la evaluación del currículum, las cuales están relacionadas con las herramientas utilizadas para realizar dicha evaluación y con la concepción que se tiene del currículum y su desarrollo.

2. SISTEMASCOMPLEJOSY CURRICULUM

En los últimos años, se está incorporando para análisis del currículum la teoría de los sistemas complejos, que establece que los sistemas no son lineales, sino que están compuestos por una gran cantidad de elementos interconectados. Ello significa que los sistemas no pueden ser analizados de forma aislada, sino que se deben considerar en su conjunto. La aplicación de esta teoría al currículum universitario permite un enfoque más global y holístico. Se deja de lado la idea de que el curriculum debe estar estructurado de forma lineal, y se enfatiza la importancia de la interconexión de los diferentes elementos (Doll Jr, 1993; Gough, 2013; Mason, 2008; Osberg &
Biestab, 2010; Semetsky, 2019).

Cada vez es más evidente que las ideas de la ciencia de la complejidad están siendo utilizadas por una gran cantidad de personas que trabajan en lo que en términos generales puede describirse como relacionados con los estudios sociales más que científicos. Se ha traído la complejidad a una diversidad de campos incluyendo la psicología, arquitectura, sociología y educación. (Kuhn, 2008, p. 170).

Gough (2013) propone tratar el currículum como un sistema complejo. Los sistemas complejos son abiertos, recursivos, orgánicos, no lineales y emergentes. Reconceptualizar el currículo, la enseñanza y el aprendizaje en términos de estructuras complejas destaca las cualidades impredecibles y generativas de los procesos educativos e invita a los educadores a valorar eso que es inesperado y/o fuera de su control.

Detrás de cada sistema complejo siempre hay un diagrama de conexiones, una red, que define las interacciones entre sus componentes. Es por ello que para comprender y estudiar los sistemas complejos se debe realizar el mapeo de la red que lo soporta. El propósito del desarrollo de la red curricular es verificar la coherencia e integridad del currículum y determinar los pesos relativos de las diferentes áreas que lo integran y cómo

estas áreas se integran. Los gráficos de redes ofrecen un paradigma poderoso para la visualización y análisis de sistemas completos (Aldrich, 2015).

3. EL CURRICULUM COMO RED (GRAFO)

Para la generación y el análisis de la red, se ha utilizado la Teoría de Grafos. La misma, también llamada teoría de gráficas, es una rama de las matemáticas y las ciencias de la computación que, entre otras cuestiones, estudia las propiedades de los grafos.
Se puede definir un grafo como una pareja ordenada (V,E), en la que V es un conjunto no vacío de vértices y E es un conjunto de aristas. E consta de pares no ordenados de vértices, tales como {x,y} pertenecientes a E, entonces se dice que x e y son adyacentes; y en el grafo se representa mediante una línea no orientada que une dichos vértices. Si el grafo es dirigido se le llama dígrafo, se denota D, y entonces el par {x,y} es un par ordenado, esto se representa con una flecha que va de x a y, y se dice que (x,y) pertenecen a E (Godsil & Royle, 2001). Podemos ver que es indistinto representar los pares ordenados entre {} o entre ().
En el caso en análisis, estamos ante la presencia de un grafo dirigido, ya que cada asignatura (representada por un nodo en donde se asigna la actividad que se desarrolla en cada una de ellas: como el cursado, la regularización de la misma y su aprobación final mediante un examen) precede o ante-precede, según sea el caso, a otra y la relación entre las actividades antes mencionadas se tiene una dirección especificada, la cual se deduce del Plan de Estudios y del Sistema de Correlatividades.
El Plan de Estudios tiene un Sistema de Correlativas, el cual determina las condiciones que debe cumplir el estudiante para poder cursar una asignatura. Dicho sistema asigna dos tipos de condiciones que permiten avanzar en la carrera, o en este caso, a la siguiente actividad o nodo:

I. Asignaturas que deben estar "regularizadas", es decir con los parciales y/o carpeta de trabajos prácticos aprobados,

II. Asignaturas que deben estar "aprobadas", es decir con el examen final realizado y aprobado. De esta manera el estudiantado acreditó la asignatura en su curriculum académico.

Estas condiciones se asignan como pre-requisito para realizar una actividad de cursado de asignatura o la posibilidad de presentarse a un examen final. Ambas condiciones antes mencionadas (regularización y/o aprobación de asignatura), relacionadas con diferentes asignaturas, pueden condicionar una actividad siguiente (cursado o examen) de otra asignatura. Como se puede deducir de lo anterior, esto genera una interrelación compleja entre actividades, la cual es la que se pretende analizar mediante la técnica de grafos. Dichas relaciones se han materializado en el grafo con el cual se ha analizado cada carrera.
Un grafo está compuesto por los siguientes elementos:

- Aristas: Son las líneas que unen los vértices de un grafo.
- Vértices: Los vértices son los elementos que forman un grafo. Cada uno lleva asociada una variable característica según la situación. Para el caso en análisis se corresponde con una actividad (cursado de una asignatura, regularización y aprobación).
- Camino: Se denomina camino a un conjunto de vértices interconectados por aristas. Dos vértices están conectados si hay un camino entre ellos.

Para la generación de los grafos correspondientes a los planes de estudios de ingeniería civil e ingeniería mecánica, se ha utilizado el plan de estudios de las carreras, junto con el plan de correlatividades correspondientes.
Como herramienta se utilizó el software Gephi (Bastian et al., 2009). Es un programa libre y de código abierto.
La generación y análisis de grafos desempeñan un papel fundamental en la comprensión de sistemas complejos en diversas disciplinas científicas. En esta

perspectiva, Gephi emerge como una herramienta esencial para la visualización y análisis de redes. Para representar y analizar las relaciones entre nodos en un grafo mediante Gephi, se utiliza la matriz de adyacencia como una forma efectiva de estructurar los datos. En la matriz de adyacencia, cada fila y columna corresponden a los nodos del grafo, y los valores en las intersecciones indican la existencia y la naturaleza de las conexiones entre los nodos.
La inserción de datos de nodos y aristas en Gephi a través de la matriz de adyacencia involucra una secuencia de pasos clave. En primer lugar, se construye la matriz de adyacencia, codificando las relaciones entre nodos según su presencia o ausencia. Luego, la matriz se introduce en Gephi mediante la función de importación de datos, permitiendo que la plataforma genere automáticamente la representación visual del grafo. A través de esta metodología, los investigadores pueden explorar la topología y las interconexiones de manera eficiente, destacando la utilidad de Gephi como una herramienta valiosa para la investigación de redes complejas
Los elementos considerados para la generación del grafo son los siguientes:

Vértices:Cómo vértices del grafo se tomaron las actividades principales que se tienen en cada asignatura: el cursado, la regularización y la aprobación del examen final. Para mejorar la visualización del grafo, se adoptó como nombre de cada vértice el código de cada asignatura. Para identificar la actividad del vértice, al código de la asignatura se le sumó una letra, de acuerdo con la siguiente nomenclatura:

- C: Corresponde a la instancia en la cual el alumno está cursando de la asignatura
- R: Corresponde a la instancia en la cual el alumno ha regularizado la asignatura
- A: Corresponde a la instancia en la cual el alumno a aprobado el examen final de la asignatura
- RI: Corresponde a la instancia de realización de informe (puede ser de la práctica o el proyecto).
- EI: Corresponde a la instancia de evaluación de informe (puede ser de la práctica o el proyecto)
- P: Corresponde a la instancia de práctica profesional supervisada.

De esta manera, por ejemplo, el vértice que indica que el alumno ha regularizado la asignatura Física I se denomina: “02-FI1-R”, siendo 02 el número de orden que se asignó a esta asignatura en el plan de estudio. Asimismo, se han ingresado los nodos correspondientes al ingreso y egreso a la carrera.

Aristas**:** La determinación de las aristas del grafo se realizó aplicando el sistema de correlatividades del plan de estudios. Por ejemplo, para poder cursar Elementos de Álgebra Lineal (TT4), el alumno debe tener regularizada la asignatura Álgebra y Geometría Analítica (TT2). En este caso entonces, se debe trazar una arista dirigida (con flecha) que parte de esta última y llega a Elementos de Algebra Lineal. Este procedimiento se aplicó a todas las asignaturas teniendo en cuenta todas las correlativas emanadas del plan de estudio correspondiente a cada carrera.

Para la carga de los datos en el software Gephi se realizó una matriz con los datos de los vértices y las aristas, en formato de archivo de texto.
Uno de los métodos de disposición espacial preeminente en Gephi es el algoritmo ForceAtlas2, el cual desempeña un papel esencial en la distribución efectiva de los nodos en la representación gráfica de redes complejas. Basado en principios de la física y el comportamiento de partículas cargadas, el algoritmo ForceAtlas2 simula la interacción entre nodos como fuerzas de atracción y repulsión. Los nodos conectados por aristas experimentan una fuerza de atracción que los acerca, mientras que los nodos no conectados ejercen fuerzas de repulsión para evitar colisiones.
Este enfoque dinámico permite que los nodos alcancen una disposición equilibrada y visualmente coherente. Además, ForceAtlas incorpora la adaptación a la escala, lo que significa que los nodos tienden a organizarse en múltiples niveles jerárquicos, facilitando

la identificación de comunidades y patrones emergentes en la red. El uso de ForceAtlas en Gephi otorga a los investigadores la capacidad de explorar y comprender de manera intuitiva la estructura y la conectividad de las redes complejas, promoviendo un análisis más profundo y una interpretación enriquecida de los datos (Jacomy et al., 2014).

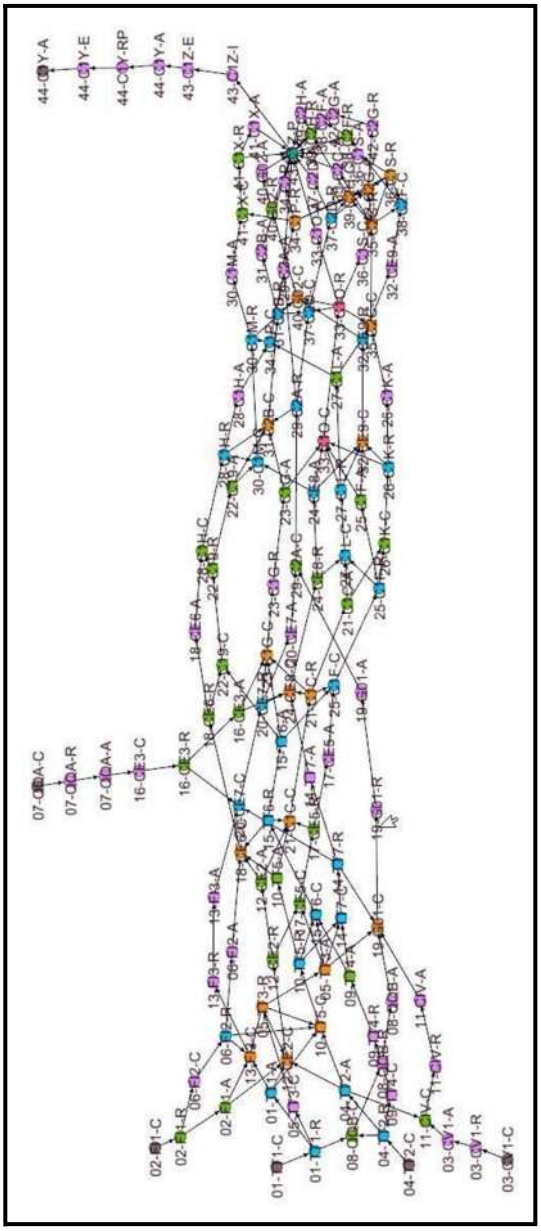


Figura 1: Red del Plan de Estudios de Ingeniería Civil – Algoritmo Force Atlas 2 – Grafo.

Figura 2: Red del Plan de Estudios de Ingeniería Civil – Algoritmo Force Atlas 2 – Grado de Nodos.

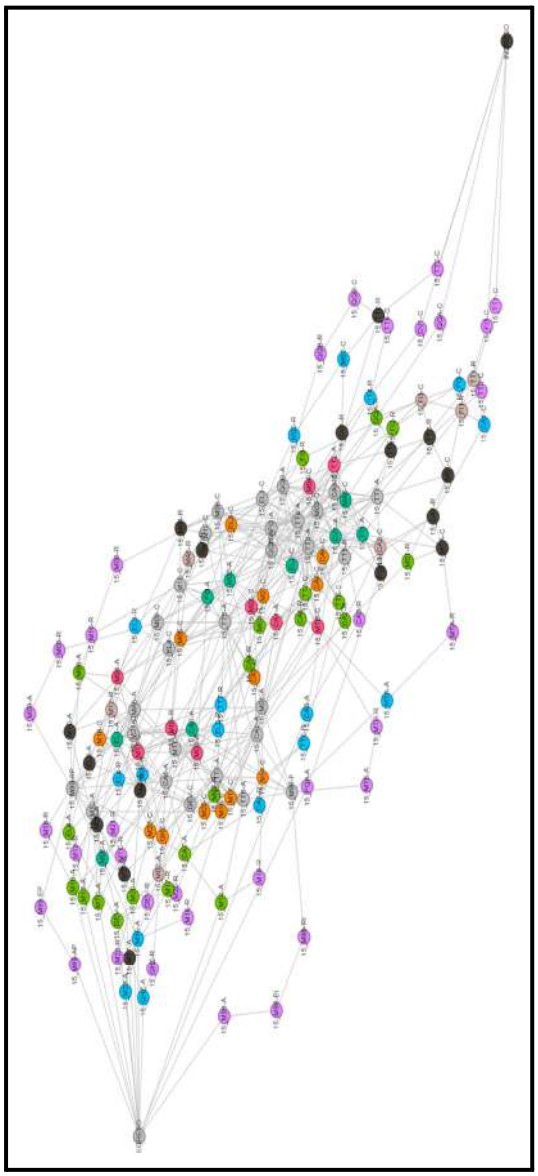


Figura 3: Red del Plan de Estudios de Ingeniería Mecánica – Algoritmo Force

Atlas 2 – Grafo

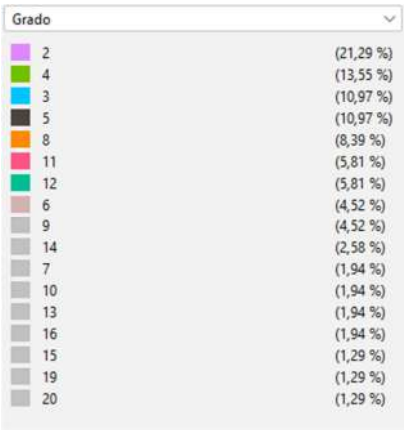


Figura 4: Red del Plan de Estudios de Ingeniería Mecánica – Algoritmo Force Atlas 2 - – Grado de Nodos.

De esta manera, se generaron redes en las cuales se pueden detectar comunidades(clusters) de nodos. La red generadapara la carrera de ingeniería civil contiene 135 nodos y 217 aristas, en tanto que la red generada para la carrera de ingeniería mecánica contiene 155 nodos y 502 aristas. En las figurasanteriores se puede observar la red generada utilizando los métodos antes descritos.

3. DETERMINACIÓNDEMEDIDASTOPOLÓGICAS DE LA RED

El análisis de la estructura de las redes pretende dar a entender el comportamiento de los sistemas complejos que generan dichas redes. A la red generada se le han calculado las siguientes medidas y determinaciones.

3.1 Medidas Globales

Estas medidas proporcionan información más compacta que permite evaluar la estructura global de la red, mostrándonos así datos sobre propiedades importantes de los fenómenos sociales subyacentes.
Si bien existen varias medidas globales utilizadas para el análisis de una red, para nuestro caso se ha determinado solamente el grado medio de la misma, ya que las otras son más utilizadas para el análisis de redes sociales.
Matemáticamente, el grado medio se calcula sumando los grados de todos los nodos en la red y dividiendo este valor entre el número total de nodos en la red.

3.2 Medidas Locales

Todas ellas están basadas en el concepto general de centralidad o prestigio, lo cual es una medida general de la posición de un actor en la estructura global de la red social. Se usan para identificar los actores clave de la red. Muestran cómo las relaciones se concentran en los nodos, dando una idea de su importancia.
Unos de los indicadores que nos puede dar mucha información sobre los nodos (actividades de las asignaturas) es el grado de estos. El grado de un nodo es el número de aristas que lo conectan con otros. En redes dirigidas, se define un grado de entrada (in-degree) y un grado de salida (out-degree). El grado (total) es la suma de ambos. El grado total nos da una medida de la importancia de un nodo individual en la red. Un nodo con un número de grado alto se denomina “hub” y se considera importante ya que se constituye en un nodo de canalización de información (Freeman, 1979).
Un nodo con un alto grado de entrada significa que tiene muchos prerrequisitos para su cursado, lo cual lo constituye en una actividad de una asignatura integradora. En el análisis de redes a esta medida se la denomina también soporte. Por otra parte, un nodo con un alto grado de salida significa que la información que se imparte en el curso es una fuente importante de información para los cursos posteriores. Se dice que este tipo de nodos presentan una alta influencia en la red.
También se ha calculado la centralidad de vector propio (en inglés, eigenvector centrality), llamado asimismo como prestigio de rango o prestigio de estatus. Dicho parámetro es una medida de centralidad utilizada para cuantificar el nivel de influencia, prestigio o estatus de un nodo o actor en un grafo (Wasserman and Faust, 2013). En la Tabla 1 y Tabla 2 se pueden observar un resumen de los resultados de los cálculos realizados.

Tabla 1. Resultados de medidas topológicas de red – Ing. Civil

Variables	Maximo	Minino	Medio
Grado de Entrada	16	1	3.24
Grado de Salida	18	1	3.32
Grado total	20	2	6.57
Centralidad de vector propio	1,00	0,00	0,18

Tabla 2. Resultados de medidas topológicas de red – Ing. Mecánica

Variables	Maximo	Minino	Medio
Grado de Entrada	14	1	3.24
Grado de Salida	18	1	3.32
Grado total	20	2	6.57
Centralidad de vector propio	0,97	0,00	0,16

4. ANÁLISISYDISCUSIÓNDELOS RESULTADOS – INGENIERIA CIVIL

4.1 Grado Total

Del análisis de los resultados obtenidos podemos concluir que el grado total de conexión de la red es heterogéneo. El grado medio es de 1.6 (calculado como el número total de nodos sobre el número total de aristas), sin embargo, en la tabla de grado total vemos que el 41 % tiene un grado de 2, en tanto que más del 55 % tiene un grado entre 3 y 5. Esto nos permite observar que el plan de estudio presenta un muy alto grado de interdependencia entre las actividades de las asignaturas, lo que finalmente estaría mostrando que es muy rígido y muy restrictivo en relación a las posibilidades de avance que tiene el alumno. El progreso en la carrera está muy condicionado por el alto grado total que tiene cada nodo. Esto es a causa del sistema decorrelatividades que se ve reflejado en el plan de estudios, y es el que, en gran medida, los alumnos indican como la principal causa del retraso que sufren en la carrera.

4.2 Grado de Salida

Si se analiza la red desde el punto de vista del grado de salida (lo que serían nodos "influyentes"), vemos que, como es natural, predominan las actividades de las asignaturas correspondientes a la primera parte de la carrera (Ciencias Básicas y Tecnologías Básicas).

4.3 Grado de Entrada

Si se analiza la red desde el punto de vista del grado de entrada (lo que serían nodos "soporte"), vemos que en este caso predominan las actividades de las asignaturas del tramo medio superior de la carrera. En este caso, los valores tienen una distribución más uniforme. Siguen aproximadamente la distribución de tiempos asignados en el plan de estudios.

4.4 Centralidad de Vector Propio

Con relación a las mediciones de centralidad de vector propio, nos centramos en este caso en aquellas asignaturas de módulos anteriores al final, ya que las últimas materias de por sí son importantes.

En el caso de Cimentaciones, ya ha presentado niveles altos de importancia cuando se evaluaronotras mediciones de centralidad (centralidad de grado, por ejemplo).

Como lo hemos mencionado, los nodos con un alto grado (grado de entrada, grado de salida o grado medio) conforman actividades que de alguna manera regulan el tránsito en la carrera. Si no se supera la actividad perteneciente a ese nodo, podría representar un retraso en la carrera ya que impediría avanzar a los tramos superiores de dicho nodo.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS–INGENIERÍAMECÁNICA

5.1 Grado Total

Del análisis de los resultados obtenidos podemos

concluir que el grado total de conexión de la red es heterogéneo. El grado medio es de 3.23 (calculado como el número total de nodos sobre el número total de aristas), sin embargo, en la tabla de grado total vemos que el 21 % tiene un grado de 2, en tanto que más del 55 % tiene un grado entre 3 y 20. Esto nos permite observar que el plan de estudio presenta un muy alto grado de interdependencia entre las actividades de las asignaturas, lo que finalmente estaría mostrando que el plan es muy rígido y muy restrictivo en relación a las posibilidades de avance que tiene el alumno. Esta rigidez es aún mayor a la que se presenta en Ing. Civil. El avance en la carrera está muy condicionado por el alto grado total que tienen cada nodo. Esto es a causa del sistema de correlatividades que se ve reflejado en el plan de estudios, y es el que, en gran medida, los alumnos indican como la principal causa del retraso que sufren en la carrera.

5.2 Grado de Salida

Si se analiza la red desde el punto de vista del grado de salida (lo que serían nodos "influyentes"), vemos que, como es natural, predominan las asignaturas correspondientes a la primera parte de la carrera (Ciencias Básicas y Tecnologías Básicas). Sin embargo, asignaturas como Cálculo II presentan un grado tan alto como 18, es decir que están condicionando una cantidad excesiva de actividades, lo cual la convierte en un gran escollo para el avance de la carrera.

5.3 Grado de Entrada

Si se analiza la red desde el punto de vista del grado de entrada (lo que serían nodos "soporte"), vemos que en este caso predominan las asignaturas del tramo medio superior de la carrera. Se destaca en este caso la asignatura Conocimiento de los Materiales, la cual está condicionada por 14 actividades para su cursado, lo cual la lleva a que sea una actividad difícil de realizar si no se cumplen todas las restricciones que presenta.

5.4 Centralidad de Vector Propio

Con relación a las mediciones de centralidad de vector propio, se exponen a continuación las asignaturas que tienen un mayor valor de centralidad. Debemos aclarar que se han sacado de esta lista las correspondientes a las últimas instancias de la carrera ya que por ser las últimas que debe realizar el estudiante, son de por sí importantes. Nos centramos en este caso en aquellas asignaturas de módulos anteriores, de las cuales destacamos las siguientes:

- Taller De Motores De Combustión Interna
- Motores De Combustión Interna
- Ensayo De Máquinas E Instalaciones
- Generadores De Vapor E Instalaciones

Como lo hemos mencionado, los nodos con un alto grado (grado de entrada, grado de salida o grado medio) conforman actividades que de alguna manera regulan el tránsito en la carrera. Si no se supera la actividad perteneciente a ese nodo, podría representar un retraso en la carrera ya que impediría avanzar a los tramos superiores de dicho nodo.

6. DURACIÓN DE LAS CARRERAS DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA EN LAS COHORTES DE 2004 A 2009

6.1 Ingeniería Civil

Estos datos son obtenidos del sistema de gestión de alumnos SIGEA.

Tabla 3. Tiempo de duración de la carrera en función del año de ingreso (cohorte) - Ing. Civil

Año de Ingreso (Cohorte)	Promedio de cursado (años)
2004	10,51
2005	9,79
2006	8,57
2007	9,33
2008	8,89
2009	8,66

6.2 Ingeniería Mecánica.

Estos datos son obtenidos del sistema de gestión de alumnos SIGEA.

Tabla 4. Tiempo de duración de la carrera en función del año de ingreso (cohorte) - Ing. Mecánica

Año de Ingreso (Cohorte)	Promedio de cursado (años)
2004	10,53
2005	9,83
2006	8,84
2007	9,61
2008	8,60
2009	8,14

7. CONCLUSIONES

Ambas carreras se presentan heterogéneas con relación a los indicadores calculados. Sin embargo, la carrera de Ingeniería Mecánica presenta indicadores que la muestran más rígida aún que Ingeniería Civil. Esto queda avalado también por los datos obtenidos del sistema de gestión de alumnos SIGEA, donde se puede observar fácilmente que hay una leve duración mayor en los años de los cursantes de la carrera de ingeniería mecánica (teniendo en cuenta un ajuste que se hizo por años para equiparar el análisis).

Asimismo, el alto grado total que presentan los nodos en ambos casos está indicando que existe una fuerte rigidez en cuanto a las condiciones que se imponen a la realización de las actividades propias de las asignaturas. Podríamos concluir que el 50 % de las actividades propias de los planes de estudios está condicionada.

Esta interdependencia se constituye, desde nuestro punto de vista, en un entramado tal vez excesivamente rígido y exigente, el cual termina por dificultar el avance del alumno en la carrera.

Otraconclusión

n es la utilidad de este tipo de herramientas y análisis para encontrar patrones y relaciones que, de otra manera, permanecen poco visibles. Creemos que indagaciones de este tipo pueden servir para que, a la hora del planteo de un nuevo plan de estudios y/o de la búsqueda de soluciones a problemas existente en uno que está implementado, se descubran las causas a algunos problemas que están “escondidas” en la propia estructura del plan y que no son fácilmente visibles.

Es importante que los indicadores que presente una red sean relativamente homogéneos y que se eviten actividades que se constituyan en “cuellos de botella” y que traben o dificulten el avance de los alumnos en la carrera. Es importante que la “red” que constituye el plan de estudios permita el tránsito adecuado del alumno por la carrera y que, a la hora de que éste no supere una actividad por algún motivo, tenga opciones de seguir avanzando, sin que dicho tropiezo se constituya en una pérdida de tiempo que no sea razonable y/o que trabe completamente el avance en su carrera.

8. REFERENCIAS

Aldrich, P. R. (2015). The curriculum prerequisite network: Modeling the curriculum as a complex system. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, *43*(3), 168–180. https://doi.org/10.1002/bmb.20861

Bastian, M., Heymann, S., & Jacomy, M. (2009). *Gephi: An Open Source Software for Exploring and Manipulating Networks* (0.9.5). http://www.aaai.org/ocs/index.php/ICWSM /09/ paper/view/154

Doll Jr, W. E. (1993). *A post-modern perspective on curriculum*. Teachers College Press.

García, R. (2000). El conocimiento en construcción: De las formulaciones de JeanPiaget a la teoría de sistemas complejos. Gedisa.

García, R. (2006). Sistemas complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria (Vol. 3). Gedisa.

Godsil, C., & Royle, G. (2001). *Algebraic Graph Theory*. Springer.

Gough, N. (2013). Towards deconstructive nonalignment: A complexivist view of curriculum, teaching and learning. *South African Journal of Higher Education*,

27(5), 1213–1233. https://doi.org/10.10520/EJC153525

Jacomy, M., Venturini, T., Heymann, S., & Bastian, M. (2014). ForceAtlas2, a Continuous Graph Layout Algorithm for Handy Network Visualization Designed for the Gephi Software. *PLoS ONE*, *9*(6). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0098679.

Kuhn, L. (2008). Complexity and the Culture of Curriculum. En *Complexity Theory and the Philosophy of Education* (Edited by Mark Mason, pp. 169–180). John Wiley & Sons, Ltd

Lang, C., Siemens, G., Wise, A., & Gašević, D. (Eds.). (2017). *Handbook of Learning Analytics* (1st ed.). Society for Learning Analytics Research. https://doi.org/10.18608/hla17

Luengo Navas, J. J., Luzón Trujillo, A., Torres Sánchez, M. M., & others. (2008). El enfoque por competencias en el desarrollo de políticas de formación del profesorado: Entrevista a Claude Lessard. *Profesorado: revista de currículum y formación del profesorado*.

Mason, M. (Ed.). (2008). *Complexity and the Culture of Curriculum* (Edited by Mark Mason). John Wiley & Sons, Ltd.

Osberg, D., & Biestab, G. (2010). The End/s of Education: Complexity and the Conundrum of the Inclusive Educational Curriculum. *International Journal of Inclusive Education*, *14*(6), 593–607.

Semetsky, I. R. (2019). *Semiotic subjectivity in education and counseling: Learning with the unconscious*. Routledge.

Sun, J., & Tang, J. (2011). A survey of models and algorithms for social influence analysis. *Social network data analytics*, 177–214.

Taylor, F. W. (1919). *The Principles of Scientific Management*. Harper & Brothers Publishers.

Wasserman, S., & Faust, K. (2013). *Análisis de redes sociales: Métodos y aplicaciones* (1ª ed). CIS.

Evaluación de un taller de implementación del programa Scilaben Cálculo Numérico

Salcedo, Gustavo A.[1]; Chaillou, Lucrecia L.[1]

(1) Departamento de Ciencias Básicas, Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero.
gusalc2.92@gmail.com; lucrechaillou@gmail.com

RESUMEN

La intervención de las TIC en la educación ha generado una evolución en el proceso de enseñanza/aprendizaje, transformando las prácticas tradicionales de enseñanza. El objetivo de este trabajo fue la valoración de un taller de métodos numéricos utilizando el programa libre Scilab en la asignatura Cálculo Numérico.Se trabajó con la resolución de problemas referidos a solución numérica de ecuaciones y regresión lineal. Los estudiantes emplearon sus pseudocódigos de Scilab para obtener la solución de los mismos, corroborando los resultados que obtuvieron manualmente. La evaluación de las actividades se realizó mediante una lista de cotejo referida al grado de participación de los estudiantes, y una encuesta de satisfacción del taller. El análisis de estas herramientas indicó que los estudiantes aplicaron correctamente los pseudocódigos de Scilab, manifestaron la rapidez del programa comparado con la calculadora manual, remarcaron la estrecha relación entre las actividades desarrolladas y el tipo de taller, y concluyeron que utilizarán el programa a futuro, tanto en la vida estudiantil como en la profesional. El taller mejoró la calidad del proceso de enseñanza/aprendizaje de la asignatura, potenciando las habilidades de los estudiantes, y ofreciendo un acercamiento entre las ciencias básicas y las tecnologías.

ABSTRACT

The intervention of ICT in education has generated an evolution in the teaching/learning process, transforming traditional teaching practices. The objective of this work was the evaluation of a numerical methods workshop using the free program Scilab in Numerical Calculus course. We worked with the resolution of problems related to the equations numerical solution and linear regression. The students used their Scilab pseudocodes to obtain their solution, corroborating the results obtained manually. The activities evaluation was carried out through a checklist referring to the degree of participation of the students, and a satisfaction survey of the workshop. The analysis of these tools indicated that the students correctly applied the Scilab pseudocodes, expressed the speed of the program compared to the manual calculator, highlighted the close relationship between the activities carried out and the type of workshop, and concluded that they will use the program in the future, both in student life as well as in professional life. The workshop improved the quality of the teaching/learning process of the subject, enhancing the student abilities, and offering an approach between basic sciences and technologies.

Palabras claves: Cálculo Numérico - TIC - pseudocódigo - Scilab.

Keywords: Numerical Calculus - ITC – pseudocode - Scilab.

1. INTRODUCCIÓN

La producción del conocimiento se incrementó notablemente durante el siglo pasado y continúa maximizándose, ilimitadamente, en el presente. Gran parte de ese conocimiento se generó en universidades, por ello, durante años, la dinámica educativa siguió un paradigma transmisionista. En la actualidad, este paradigma no puede aplicarse por dos motivos: el primero, porque gran parte de la información se renueva rápidamente y el segundo debido a que su gran volumen hace inviable su transmisión (Garrido Rivera et al., 2021). En este sentido, se ha pasado de una relación de dominio del conocimiento a la de gestión de la información. Esto implica modificaciones en la formación y desarrollo de la docencia que impactan en el aprendizaje y la evaluación. Estos cambios, conjuntamente con las perspectivas económicas, la globalización, la influencia de las migraciones y la expansión tecnológica, influyen en la enseñanza universitaria y en las competencias que deben desarrollarse en los futuros profesionales (Alsina et al., 2011).

El dominio que tiene un docente del conocimiento disciplinar de la asignatura a su cargo necesita complementarse con el conocimiento pedagógico vinculado a aspectos inherentes a la comunicación y a la problematización de ideas, juicios y reflexiones, concernientes a la enseñanza, para que los estudiantes logren comprenderlo (Juarros y Levy, 2020).

En el siglo XXI, las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) se han convertido en un elemento dinamizador de la educación en general y particularmente de la educación universitaria (Posada et al., 2020). Su uso debe estar dirigido a construir conocimiento y ayudar al aprendizaje, es decir, no es un fin, sino una herramienta para el desarrollo cognitivo. Esto implica una implementación reflexiva que impulse el avance pedagógico del aula que permita lograr una educación de calidad (Valbuena et al., 2021).

El uso de TIC impacta en la motivación de los estudiantes, permite manejar en forma rápida y precisa gran cantidad de información, reduce el tiempo de tareas rutinarias y repetitivas, permite explorar conjeturas en corto tiempo y representar de diferentes formas una situación o problema, entre otros aspectos (Cruz, 2010).

La educación mediada por TIC ha generado una transformación en el proceso deenseñanza/aprendizaje, modificando las prácticas tradicionales de enseñanza, puesto que implica transformaciones del espacio y del tiempo, la reorganización de los saberes y la redefinición de la comunicación y de las relaciones de autoridad (Dussel, 2018).

Esta transformación implica una serie de exigencias, entre las cuales se pueden mencionar: la necesidad de que docentes y estudiantes adquieran las competencias para que logren aprovechar y optimizar las TIC disponibles; el replanteamiento de los sistemas de evaluación para que esté orientado hacia las competencias adquiridas por el estudiante para solucionar situaciones problemáticas específicas de su carrera; la rigurosidad disciplinar, pedagógica y técnica en el diseño, la implementación, y la evaluación; y la retroalimentación de las mismas (Grisales-Aguirre, 2018).

Dentro de las TIC, la modelización es un recurso ampliamente utilizado para la enseñanza de Ciencias y Matemáticas. Este recurso implica una serie de aspectos vinculados con: la comprensión del proceso de construcción del modelo, a partir de la realidad simplificada y de la teoría, así como de otros elementos externos; su funcionamiento, que depende del tipo de modelo (Teóricos, matemáticos, analógicos, estacionarios, dinámicos, etc.); su capacidad de representación; y su papel en el aprendizaje, puesto que son fuente y medio de conocimiento, permitiendo el aprendizaje en la etapa de construcción y durante su uso, así como también durante su evaluación y revisión (Morrison y Morgan, 1999).

En el área de las Matemáticas, la utilización de recursos TIC en el proceso de enseñanza – aprendizaje constituye una estrategia con tres objetivos fundamentales: motivar al estudiante a que aplique los contenidos teóricos en herramientas interactivas, compruebe la robustez de sus algoritmos en programas específicos y realice simulaciones; favorecer la participación del estudiante en la construcción del conocimiento, orientado por el docente (Grisales-Aguirre, 2018); y fortalecer el sistema educativo, de acuerdo con las necesidades de los profesionales que se pretenden formar en el siglo XXI (Alvarado et al., 2000).

La modelización en Matemáticas favorece el desarrollo del pensamiento matemático y estratégico, la formación de competencias y la descripción de relaciones en situaciones contextuales, entre otros aspectos. Entre las ventajas del uso de TIC en la generación de estos

modelos matemáticos, se pueden mencionar aquellas que permiten: probar la coherencia del modelo con respecto al contexto, utilizar diferentes formas de representación y experimentación, establecer interpolaciones y extrapolaciones, y comparar diferentes opciones para seleccionar el modelo más efectivo y eficiente (Cruz, 2010).

La Matemática Superior, y dentro de ella, el Cálculo Numérico, juegan un papel esencial, puesto que permiten desarrollar un sistema de competencias generales que le permiten al futuro ingeniero resolver problemas relativos a su profesión (Trejo et al., 2013). Entre esas competencias se pueden mencionar las relacionadas con la capacidad de definir, demostrar, identificar, interpretar, recodificar, graficar, modelar, aproximar, resolver, optimizar, comparar y controlar. Además, el uso de herramientas tecnológicas, entre ellas, los softwares específicos, tales como MatLab, Maple, Mathematica, Mathcad, todos bajo licencia, facilitan a estudiantes y docentes la realización de cálculos complejos, el desarrollo del pensamiento lógico y algorítmico, la elaboración de gráficos, la identificación de relaciones y patrones, la validación numérica de resultados analíticos, entre otros aspectos (Morales y Blanco, 2019).

Si bien, la evolución de TIC ha sido notable, es innegable la existencia de la brecha digital puesto que en muchos casos estas herramientas son poco accesibles. Por este motivo, es muy importante el uso de tecnologías libres, es decir, aquellas que se basan en el principio del conocimiento concebido como un bien común, sin restricciones para su acceso (Santaella, 2019).

La implementación de este tipo de tecnologías permite la democratización de la información y en el caso específico de softwares libres, garantizan el acceso a todo el código fuente y la transferencia del conocimiento asociado para su comprensión; la autonomía de modificación, de uso en cualquier área, aplicación o propósito y la libertad de publicación del código fuente y sus modificaciones en función de los objetivos del proceso enseñanza-aprendizaje (González-Mariño, 2007; Santaella, 2019). Entre los softwares libres que se utilizan en Cálculo Numérico se destacan Scilab, Octave, y para tópicos específicos GeoGebra.

Entre las actividades pedagógicas utilizadas para implementar softwares específicos de métodos numéricos, se destaca el taller, puesto que implica seguir un programa corto e intensivo, para grupos pequeños. Durante su desarrollo, se enfatiza la participación de los estudiantes para que adquieran conocimientos autónomos y colaborativos superando la brecha entre la teoría yla práctica para solucionar problemas (Pimienta Prieto, 2012).

En virtud de lo expuesto, para implementar el uso de un software específico gratuito, se implementó un taller de métodos numéricos utilizando Scilab, con el objetivo de evaluar la participación del estudiante y los resultados obtenidos aplicando el software, así como también, valorar el grado de satisfacción de los estudiantes, una vez concluida la actividad.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Cálculo Numérico forma parte de las asignaturas de la disciplina Matemática que transita el alumno de la carrera Ingeniería en Alimentos de la Facultad de Agronomía y Agroindustrias (FAyA) de la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE). Se dicta durante el primer cuatrimestre del tercer año de la carrera, con una carga horaria semanal de 8 h. Durante su desarrollo se aplican métodos numéricos para resolver problemas específicos de la ciencia y tecnología de los alimentos.

Antes de finalizar el dictado de la asignatura, se implementó un taller de uso de un software libre. Se seleccionó Scilab en base a las conclusiones del trabajo de Salcedo y Chaillou (2022). El taller se denominó “Solución numérica de ecuaciones y Regresión lineal con Scilab”. El objetivo general fue complementar la enseñanza-aprendizaje de contenidos de la asignatura Cálculo Numérico utilizandoScilab como ayuda didáctica para mejorar el aprendizaje. Dado que la asignatura es muy amplia, se seleccionaron dos tópicos de interés. La semana previa al taller, se generó en el aula virtual una nueva pestaña que incluyó el siguiente materialdidáctico:un tutorial de instalación del software, con un breve detalle de aspectos vinculados a su uso, indicando ventanas de comandos y de edición de algoritmos, explorador de archivos y de variables e historial de comandos; una presentación en Microsoft PowerPoint referida a aspectos teóricos y prácticos de los temas seleccionados, así como también explicaciones para escribir los algoritmos de cada uno de los métodos numéricos utilizados en el lenguaje propio deScilab (para el cálculo de raíces de ecuaciones, los métodos fueron bisección, regla falsa, Newton-Raphson y Newton

de segundo orden; y para regresión lineal se utilizó el método de mínimos cuadrados); un trabajo práctico con una serie de ejercicios del trabajo práctico N°3, correspondiente al tema solución numérica deecuaciones no lineales, que fue resuelto en su momento con calculadora utilizando los métodos mencionados;y un problema propio de la Ingeniería en Alimentos, referido a la extracción de β-caroteno a partir de maíz,extraído del trabajo práctico N°5 sobre el tema aproximación funcional, que se resolvió manualmente con calculadora aplicando regresión lineal durante el dictado regular de la asignatura; una lista de cotejo con auto, hetero y coevaluación, referida al grado de participación de los estudiantes; una lista de cotejo con heteroevaluación para evaluar la presentación escrita de la resolución del trabajo práctico y una encuesta de satisfacción de la actividad.

Durante el taller, el docente a cargo explicó en detalle las características del software y a partir de los algoritmos de los diferentes métodos utilizados para solución numérica de ecuaciones y regresión lineal, orientó a los estudiantes para que escribieran el pseudocódigo correspondiente en el lenguaje de programación del software mencionado. Luego, los estudiantes aplicaron los pseudocódigos para obtener la solución de los ejercicios y las situaciones problemáticas propuestas, corroborando los resultados que obtuvieron manualmente. Utilizando el módulo de graficación de Scilab, graficaron las funciones asociadas a las ecuaciones planteadas identificando las raíces, así como también la recta de ajuste a los datos experimentales del problema de regresión. La actividad se desarrolló en 4 h con un intervalo de 20 min. Los estudiantes instalaron varios días antes de la actividad el software, siguiendo las explicaciones de un video que se subió al aula virtual de la asignatura y tuvieron a disposición los lineamientos generales del pseudocódigo del programa. Cursaron la asignatura 6 alumnos, durante marzo a junio de 2022, de los cuales sólo 4 pudieron asistir al taller.

Al finalizar la actividad, se solicitó a los estudiantes que completaran una lista de cotejo referida a su grado de participación en el taller, y una encuesta de satisfacción. Se les pidió también, que entregaran el trabajo práctico con las salidas Scilab para cada ejercicio, el cual fue evaluado por el docente mediante una lista de cotejo.

La lista de cotejo para la evaluación del grado de participación incluyó auto, hetero y coevaluación, de 8 indicadores o evidencias referidas a: trae los materiales necesarios; es puntual; presta atención y es activo; plantea interrogantes; maneja el software (que incluyó: escribe el algoritmo de cada método usando el lenguaje Scilab; establece bucles y contadores; maneja la consola de comandos para introducir variables, cota de error y número de iteraciones); resuelve las situaciones problemáticas de la guía de trabajos prácticos correspondiente (este indicador involucró: corrige errores del programa de cada método y comprueba que funcione adecuadamente, selecciona el método más adecuado, grafica identificando a la raíz, introduce variables de entrada, selecciona correctamente el método de regresión, realiza con el software el diagrama de dispersión, modela la recta de regresión, identifica e interpreta la pendiente y la ordenada al origen, compara los resultados del software con los que obtuvo con calculadora); respeta al docente y a sus compañeros; plantea interrogantes y hace generalizaciones de cada tema. Se utilizó una escala de 1 a 10 puntos.

La lista de cotejo para evaluar la presentación del trabajo práctico presentó 7 indicadores de logro: entrega a tiempo y en forma prolija, identifica comandos para matrices, aplica comandos adecuadamente y traduce algoritmos al pseudocódigo de Scilab, identifica variables, plantea adecuadamente el problema, e introduce adecuadamente los datos en Scilab, obtiene resultados correctos de los problemas planteados, presenta la solución en Scilab. Se consideraron 5 ejercicios de las guías de trabajos prácticos correspondientes, se utilizó la escala dicotómica si/no, contabilizándose las respuestas positivas para establecer la siguiente calificación: Excelente trabajo: 7; Muy buen trabajo: 5-6; Regular trabajo:4; No cumple con el objetivo, debe mejorar: 1 a 3. La calificación final se calculó como el promedio de las parciales.

En la encuesta de satisfacción del taller se plantearon diez aspectos, mediante interrogantes y consignas, para que los estudiantes respondieran libremente. Estos aspectos fueron:

¿El lenguaje técnico del taller fue fácil de comprender?; ¿El material que ofreció el curso cubre todos los temas explicados?;Mencione cuáles son los temas que se abordaron de forma adecuada y completa; mencione los temas que no se desarrollaron claramente; ¿Cómo califica el tiempo de respuesta al tener una duda durante el

taller?; ¿Las actividades realizadas fueron congruentes en cuanto al tipo de taller?; ¿Considera que la organización del taller fue la adecuada?; ¿Siente que sus conocimientos y habilidades han mejorado luego de asistir al taller?; ¿Piensa que podrá aplicar en el futuro loaprendido? y haga las sugerencias que considereoportunas.

3. RESULTADOS

Los alumnos concurrieron al taller con todos los materiales necesarios, incluido el software en cada computadora personal (En la plataforma virtual de la cátedra, unos días antes del dictado del taller, se suministró información sobre la instalación de Scilab). Se destacó la puntualidad y disciplina de los mismos. Al tratarse de una actividad con una dinámica diferente, se despertó el interés en el alumnado, lo que se vio traducido en la concurrencia, el entusiasmo, la formulación de preguntas y la actitud proactiva.

Durante la presentación del taller se exhibieron y se explicaron los pseudocódigos para cada método. Luego, los estudiantes pudieron escribirlos en el editor Sci Notes de Scilab, utilizando bucles y contadores.

Se presentó un problema de aproximación funcional, referido a la cuantificación de β-caroteno (Variable dependiente) en granos de maíz (Variable independiente). Los estudiantes ingresaron los datos en la consola de comandos y utilizaron el pseudocódigo adecuado para calcular los coeficientes de regresión lineal. En la Fig.1, este primer paso corresponde al denotado como PS1.

Además, con los valores de la pendiente y la ordenada al origen de la recta de regresión, los alumnos utilizaron un segundo pseudocódigo para realizar un gráfico de dispersión (En la Fig.1 se indica como PS2).Por último, mediante los comandos adecuados se calcularon los estadísticos de posición y de tendencia central correspondientes (En la Fig. 1 corresponden a C1).

```
X1=[1,0.1;1,0.4;1,0.5;1,0.7;1,0.8;1,0.9]                    PS1
X=[0.1;0.4;0.5;0.7;0.8;0.9]
Y=[0.61;0.92;0.99;1.52;1.47;2.03]
b=(X1'*X1)\(X1'*Y)

function [y]=funcion(x)                                     PS2
y=1.6576923*x+0.3173077
endfunction
x=0:0.1:1;
plot2d(x,funcion(x));
xgrid(5);
plot(X,Y,'o');

r = correl(X,Y);                                            C1
det = r^2;
xmedia = mean(X);
ymedia = mean(Y);
a = stdev (Y);
cv = (a/ymedia)*100;

printf("\n Coeficiente de correlación=
%12.8f\n",r);
printf("\n Coeficiente de determinación
=%12.8f\n", det);
printf("\n Promedio de variable
independiente=%12.8f\ n", xmedia);
printf("\n Promedio de variable
dependiente=%12.8f\n", ymedia);
printf("\n Desviación estándar=%12.8f
\n",a);
printf("\n Coeficiente de variación
=%12.8f\n",cv);
```

Figura 1. Pseudocódigo utilizado para resolver el problema de regresión lineal.

En la Fig. 2 se presenta la respuesta del programa. La salida correspondiente al cálculo de los coeficientes de regresión se presenta en la Fig.2 (a); a continuación, el gráfico (Fig. 2 (b)) y por último los estadísticos de regresión (Fig. 2. (c)). Se realizó la identificación e interpretación de cada respuesta, analizando el coeficiente de correlación, de determinación, la media de las variables dependiente e independiente, la desviación estándar y el coeficiente de variación y se obtuvieron conclusiones al respecto.

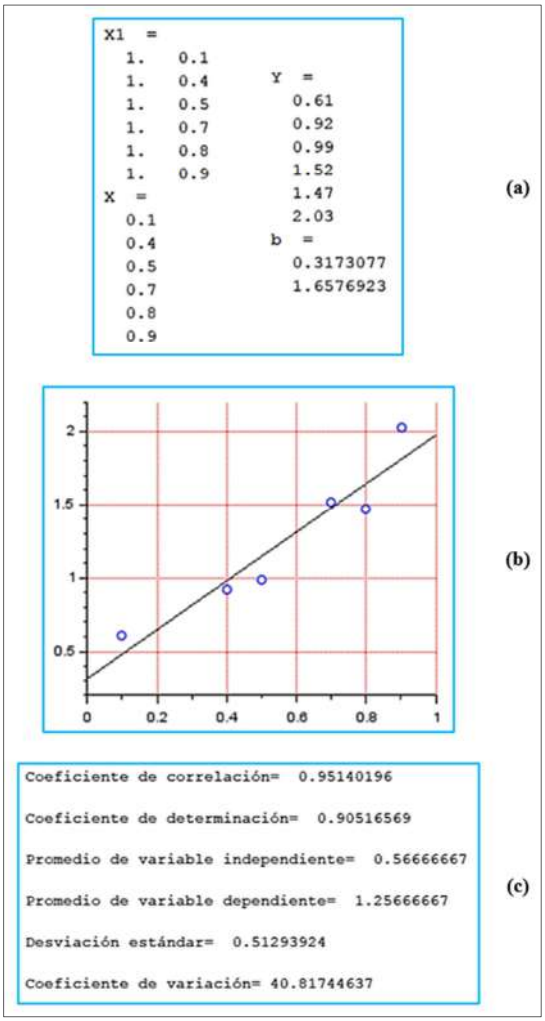


Figura 2. Captura de la resolución de un problema de aproximación funcional mediante el pseudocódigo en Scilab.

Posteriormente, se presentó un problema cuya solución puede obtenerse aplicando métodos numéricos de cálculo de raíces de una ecuación. Para explicar la introducción de variables, las primeras aproximaciones a la raíz de una ecuación, las cotas de error e iteraciones, se seleccionaron los métodos de bisección y falsa posición.

Luego de la presentación de los pseudocódigos, y ante el planteo de un problema referido a calcular la raíz de la ecuación $e^{-x} - x = 0$, los estudiantes utilizaron la función "plot2d" para graficar y encontrar una aproximación inicial a la raíz (Fig. 3).

A continuación, los estudiantes escribieron los pseudocódigos de ambos métodos, solicitando orientación y explicaciones en algunas sentencias (Fig. 4 y 5).

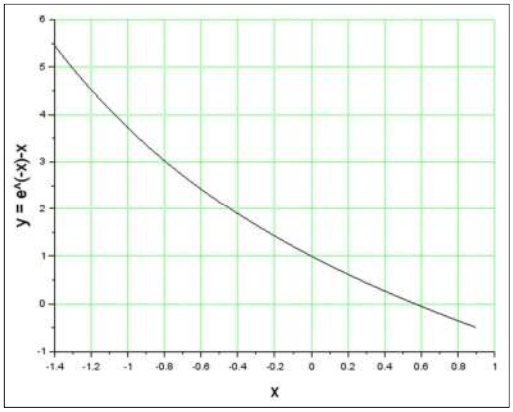


Figura 3. Gráfico de la función $f(x) = e^{-x} - x$.

```
function [y]=funcion(x)
    y=(%e^(-x)-x)
endfunction
x=-1.4:0.1:1;
plot2d(x,funcion(x)); xgrid(3);
xlabel("x", "fontsize",4,"color","black");
ylabel("y = e^(-x)-x","fontsize",4,"color",
"black")
i=1; clc
a=input("\n Ingrese el límite inferior del
intervalo   para esta función:");
b=input("\n Ingrese el límite superior del
intervalo   para esta función:");
errordeseado=input("\n Ingrese el porcentaje
de error  permitido para solucionar esta
ecuación:");
fa=feval(a,funcion); fb=feval(b,funcion);
xr=(a+b)/2; Error=100
while(Error>=errordeseado)
    fxr=feval(xr,funcion);
    caso1=fa*fxr; caso2=fb*fxr;
    if(caso1<0)
        b=xr;
        fb=fxr;
        valoranterior=xr;
        xr=(a+b)/2; valoractual=xr;
    end
    if(caso2<0)
        a=xr;
        fa=fxr;
        valoranterior=xr;
        xr=(a+b)/2; valoractual=xr;
    end
    Error=abs((0.56714329-
valoractual)/0.56714329)*100;
    printf("%1.0f  %1.5f
%1.5f\n",i,xr,Error);
    i=i+1
end
printf("\n Raiz=%12.8f\n",valoractual);
printf("Con un error del %f porciento
\n",Error);
printf("Tras %d iteraciones",i);
```

Figura 4. Pseudocódigos para la solución numérica de la ecuación $e^{-x} - x = 0$, por el método de bisección.

```
function [y]=funcion(x)
    y=(%e^(-x)-x)
endfunction
x=-1.4:0.1:1;
plot2d(x,funcion(x)); xgrid(3);
xlabel("x", "fontsize",4,"color","black");
ylabel("y = e^(-x)-
x","fontsize",4,"color","black");
i=1; clc
a=input("\n Ingrese el limite inferior del
intervalo para esta función:");
b=input("\n Ingrese el limite superior del
intervalo para esta función:");
errordeseado=input("\n Ingrese el porcentaje
de error permitido para solucionar esta
ecuación:");
fa=feval(a,funcion); fb=feval(b,funcion);
xr=b-(fb*((a-b)/(fa-fb))); Error=100
while(Error>=errordeseado)
    fxr=feval(xr,funcion);
    caso1=fa*fxr; caso2=fb*fxr;
    if(caso1<0)
        b=xr;
        fb=fxr;
        valoranterior=xr;
        xr=b-(fb*((a-b)/(fa-fb)));
valoractual=xr;
    end
    if(caso2<0)
        a=xr;
        fa=fxr;
        valoranterior=xr;
        xr=b-(fb*((a-b)/(fa-fb)));
valoractual=xr;
    end
    Error=abs((0.56714329-
valoractual)/0.56714329)*100;
    printf("%1.0f%1.5f%1.5f\n",i,xr,Error);
    i=i+1
end
printf("\n Raiz=%12.8f\n",valoractual);
printf("Con un error del %f porciento
\n",Error);
printf("Tras %d iteraciones",i);
```

Figura 5. Pseudocódigos para la solución numérica de la ecuación $e^{-x} - x = 0$, por el método de la falsa posición.

La introducción de datos y resolución de un problema de cálculo de raíces en Scilab mediante el método de bisección y falsa posición se presenta en las Fig. 6 y 7, respectivamente.

```
\n Ingrese el límite inferior del intervalo
para esta función:0
\n Ingrese el límite superior del intervalo
para esta función:1
\n Ingrese el porcentaje de error  permitido
para solucionar esta ecuación:4
1   0.75000   32.24171
2   0.62500   10.20143
3   0.56250   0.81872
 Raiz=   0.56250000
Con un error del 0.818715 porciento
Tras 4 iteraciones
```

Figura 6. Salida del programa mediante el método de bisección de la ecuación $e^{-x} - x = 0$.

Los errores detectados por el programa durante la escritura del pseudocódigo por parte de los estudiantes, estuvieron vinculados a la falta de alguna parte del pseudocódigo (alguna función y símbolos tales como comilla y punto y coma), los cuales fueron corregidos.

```
\n Ingrese el límite inferior del
intervalo para esta función:0
\n Ingrese el límite superior del
intervalo para esta función:1
\n Ingrese el porcentaje de error
permitido para solucionar esta ecuación:4
10.572180.88833
 Raiz=   0.57218141
Con un error del 0.888333 porciento
Tras 2 iteraciones
```

Figura 7. Respuesta del programa mediante el método de la falsa posición de la ecuación $e^{-x} - x = 0$.

Los estudiantes pudieron comparar los resultados obtenidos por el software con la calculadora científica, y establecieron que no sólo se manifiesta la rapidez de Scilab sobre la calculadora, sino también que el programa detecta errores de tipeo, indicando la línea para su corrección.

Durante el desarrollo del taller, se percibió el respeto de los participantes hacia el profesor a medida que se desarrollaba cada problema en el taller, así como también hacia sus compañeros, siendo perseverantes ante cualquier dificultad técnica o de comprensión de sus pares.

Los interrogantes planteados por los alumnos estuvieron vinculados a la búsqueda de alternativas para obtener pseudocódigos más concisos, aunque señalaron que los presentados en clase contenían exactamente la información solicitada para la resolución de cada problema. De hecho, las nuevas versiones de Scilab permitirán a futuro trabajar con funciones más concentradas, como maneja el software Matlab (sólo que este último no es un software libre).Se observó que los alumnos pudieron apropiarse y generar conocimientos sobre los temas desarrollados ya que plantearon nuevas preguntas sobre los métodos y sus algoritmos, analizaron los resultados y debatieron sobre el significado del resultado numérico en la situación problemática planteada. En el último problema fue evidente la autonomía de los estudiantes para seleccionar el método, escribir el algoritmo en el lenguaje de Scilab, cargar los datos, ejecutar las sentencias y obtener el resultado correcto, que les permitió corroborar el resultado obtenido manualmente con calculadora.

En los resultados de la lista de cotejo referida al grado de participación del alumnado en el taller no se observaron diferencias notables en la auto, hetero y coevaluación. Todos los estudiantes trajeron los materiales necesarios, fueron

puntuales, se mostraron activos durante todo el taller, consultaron, hicieron preguntas, aplicaron las explicaciones del docente. Manejaron el software, pero dos estudiantes mostraron dificultades debidas, posiblemente, a la falta de práctica con la computadora y con el programa, en especial en los bucles necesarios para el algoritmo del método de regla falsa. Con la orientación del docente escribieron los algoritmos de los métodos de solución numérica de ecuaciones no lineales, los ejecutaron en Scilab y obtuvieron el resultado correcto, así como también los gráficos de las funciones con sus ceros correspondientes. Todos seleccionaron adecuadamente el método de regresión adecuado para cada problema. Dos alumnos tuvieron dificultades para llegar al resultado debido a errores en la carga de datos de entrada. Encontraron los estimadores de la recta de ajuste, identificando pendiente y ordenada al origen, cuyos valores numéricos permitieron corroborar los resultados que obtuvieron previamente en forma manual, utilizando calculadora. Además, con el módulo de graficación de Scilab, hicieron el gráfico de dispersión de los datos experimentales y la recta de ajuste.

La lista de cotejo reflejó lo que se observó en clase, es decir, que todos los estudiantes plantearon interrogantes como, por ejemplo, la selección adecuada del método de cálculo de raíces de los ejercicios planteados e hicieron generalizaciones con respecto al impacto de una serie de valores numéricos de la pendiente y la ordenada al origen de la recta de ajuste del problema de regresión.

Con respecto a la encuesta de satisfacción del taller, los alumnos manifestaron que se comprendió adecuadamente el lenguaje técnico, manifestando que tuvieron una actividad similar en la asignatura Computación del plan de estudios de la carrera Ingeniería en Alimentos, pero en la instancia realizada en el taller de Cálculo Numérico tuvieron problemas de aplicación vinculados con situaciones propias de la actividad profesional del ingeniero.

Los alumnos indicaron que todos los temas se abordaron de forma adecuada y completa, además, señalaron la estrecha vinculación con lo aprendido en las clases teóricas y de resolución práctica utilizando calculadora.

Todos indicaron que los temas se desarrollaron claramente, salvo un alumno, quien expuso haber tenido inconvenientes con el ejercicio resuelto con el método de Newton-Raphson.

Tomando como referencia el tiempo de respuesta ante una duda durante el dictado del taller, los alumnos indicaron que se respondió de manera rápida y clara. Además, remarcaron la congruencia entre las actividades desarrolladas y el tipo de taller, asumiendo que estas herramientas podrán utilizarlas posteriormente, no sólo en la vida estudiantil, sino también en la actividad profesional.

En cuanto a la organización del taller, los alumnos indicaron que fue muy buena. Además, manifestaron la influencia positiva del taller puesto que amplió sus conocimientos y habilidades para resolver problemas de ingeniería a través de los métodos numéricos. Recalcaron que este fortalecimiento estuvo asociado a las herramientas gráficas del propio software, y también al breve tiempo de respuesta del mismo.

Como sugerencias finales, un alumno propuso el dictado del taller en un tiempo más prolongado, para poder abordar una mayor cantidad de problemas de ingeniería; mientras que un segundo alumno planteó la posibilidad de darle más participación a los estudiantes en el armado de los pseudocódigos correspondientes.

Considerando los aspectos positivos del taller y las sugerencias de los estudiantes en la encuesta de satisfacción, se implementarán actividades didácticas utilizandola misma modalidad referidas aotras unidades temáticas de la asignatura, entre ellas, sistemas de ecuaciones algebraicas lineales, aproximación polinomial y problemas de contorno. Además, estos nuevos talleres permitirán comparar sus resultados con los obtenidos anteriormente para elaborar conclusiones sobre la efectividad del uso de softwares libres en la enseñanza del Cálculo Numérico a nivel de carrera de grado.

4. CONCLUSIONES

El uso de las TIC para mejorar la calidad del proceso de enseñanza aprendizaje de las ciencias y la matemática, es actualmente una necesidad didáctica actual, en especial, como forma de ayudar a potenciar el desarrollo de las habilidades científicas, tan necesarias en la sociedad del conocimiento. Es así como, las TIC de manera articulada entre lo técnico y lo pedagógico ofrecen a los estudiantes un acercamiento interesante e interactivo a las ciencias y la matemática, además de que permite adaptarlos al nivel educativo correspondiente para el logro de la construcción del conocimiento.

5. REFERENCIAS

Alsina, R., et al. (2011). *Evaluación por competencias en la universidad: las competencias transversales*, Llibres Universitat (IDP-ICE, Octaedro), pp. 64. ISSN, en línea. DOI: http://hdl.handle.net/2445/145000. URL: https://www.upv.es/entidades/ICE/info/EnsenyarCompetenciasUniversidad.pdf.

Alvarado, L., Aragón, R., Bretones, F. (2020). Teachers' attitudes towards the introduction of ICT in ecuadorian public schools., *TechTrends*, 64, 498-505. https://doi.org/ 10.1007/s11528-020-00483-7.

Cruz, C. (2010). La enseñanza de la modelación matemática en ingeniería, *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 25(3), 39-46. Recuperado el 23 de noviembre de 2022, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S07984065201000300005&lng=es&tlng=es.

Dussel, I. (2018). ¿Nuevas formas de enseñar y aprender?, *Revista Perfiles Educativos*, XL, número especial, IISUE-UN.

Favieri, A., Williner, B., Scorzo, R. (2010). Análisis de la valoración de un taller de informática de la Asignatura análisis matemático I por parte de los alumnos. *Conferencia en Segundas Jornadas para Profesores de Matemática*, DOI: 10.13140/2.1.1958.8169. Fecha de acceso: 22 nov. 2022.

Garrido Rivera, A., Salgado Díaz, F., Soto Caro, C., Blanc España, P. (2021). Competencias genéricas en la práctica profesional de la carrera Ingeniería Civil Eléctrica. El discurso entre la academia y la industria. Ingeniare, *Revista chilena de ingeniería*, 29(2), 214-228. https://dx.doi.org/10.4067/S0718330520210002 00214.

González-Mariño, J. C. (2007). B-Learning utilizando software libre, una alternativa viable en educación superior. *CienciaUAT*, 1(3), 60-66. Recuperado a partir de https://revistaciencia.uat.edu.mx/index.php/CienciaUAT/article/view/477.

Grisales-Aguirre, A. M. (2018). Uso de recursos TIC en la enseñanza de las matemáticas: retos y perspectivas, *Entramado*, Julio - diciembre, 2018. vol. 14, no. 2, p. 198-214. http://dx.doi.org/10.18041/19003803/entramado.2.4751.

Juarros, M. F., Levy, E. (2020). Módulo 1: La práctica docente en la educación a distancia, *La relación pedagógica mediada por tecnologías. Pedagogía crítica y didáctica en la enseñanza digital. Ministerio de Educación de la Nación*.

Morales, Y., Blanco, R. (2019). Análisis del uso de software para la enseñanza de la matemática en las carreras de ingeniería, *Transformación*, 15 (3), 367- 382.

Morrison, M., Morgan, M. S. (1999). Models as mediating instruments. En M. S. Morgan and M. Morrison (eds.), *Models as mediators: Perspectives on Natural and Social Science* (pp. 10-37). Cambridge: Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511660108.003.

Pimienta Prieto, J. H. (2012). *Estrategias de enseñanza-aprendizaje. Docencia universitaria basada en competencias.* México: Pearson Educación.

Posada, R. C., Martínez, R. B., Posada, G. E. C. (2020). Miradas a las tendencias y desafíos de la educación mediada por TIC según reportes internacionales, *Opuntia Brava*, 12(4), 283-292.

Salcedo, G. A., Chaillou, L. L. (2022). Estudio comparativo de softwares libres para Cálculo Numérico, *Actas de XV Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA*, 286-289.

Santaella, S. R. (2019). El docente universitario como promotor de la educación mediada por las tecnologías de información y comunicación libre, *In Crescendo*, [S.l.], v. 9, n. 3, p. 399 - 415, ene. 2019. ISSN 2307-5260. Disponible en: https://revistas.uladech.edu.pe/index.php/increscendo/article/view/2048. fecha de acceso: 22/11/2022.

Trejo E., Camarena P., Trejo N. (2013). Las matemáticas en la formación de un ingeniero: una propuesta metodológica, *Revista de Docencia Universitaria. REDU*. [Internet] [citado octubre 2013] ;11 (Número especial dedicado a EngineeringEducation): 397-424. Disponible en: Disponible en: http://red-u.net

Valbuena, S., Rodríguez, D., Tavera, A. (2021). Perfiles de competencias TIC en la práctica educativa ante el reto de la enseñanza remota, *Sophia*, 17(1), 1-13. http://dx.doi.org/10.18634/sophiaj.17v.1i.105.

Innovación tecnológica en la educación superior. Experiencia de una cátedra, desde la EaD hasta ChatGPT: sin miedo al éxito.

Soria, Marcos E. G. [1];Más Valdecantos, Marcelo A.[1];Auvieux, Nicolás G.[1];Nacusse, Pablo M.[1];Guzmán, María Fernanda[1];Torres Auad, Lía F.[1]

(1) Centro de Educación a Distancia e Investigación en Tecnologías Educativas (CEDITE). Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología. Universidad Nacional de Tucumán.
mesoria@herrera.unt.edu.ar; mmas@herrera.unt.edu.ar; nauvieux@herrera.unt.edu.ar; pnacusse@dirinfo.unt.edu.ar; mferguzman@herrera.unt.edu.ar; ltorresauad@herrera.unt.edu.ar;

RESUMEN

Lo desconocido da miedo. El miedo da incertidumbre. La incertidumbre da desconfianza, y la desconfianza es el primer síntoma de fracaso. Si bien el objetivo de este trabajo no es romantizar acerca de estas sensaciones tan humanas, ellas fueron las protagonistas cuando nuestra cátedra comenzó a transitar el actual camino por el que vamos, y cuyo punto de partida fue la pandemia de COVID-19 en 2020. El primer tramo de este camino nos llevó a incorporar herramientas propias de la Educación a Distancia (EaD), rediseñar la propuesta, seleccionar y adaptar los contenidos, producir material audiovisual, y planificar las actividades. La espontaneidad, en esos tiempos difíciles, cobró un protagonismo nunca antes tan valorado.
Con la vuelta a la presencialidad se presentaron nuevos desafíos, pero sin dudas, el más interesante vino de la mano de una tecnología que existe casi desde que existen las computadoras: la inteligencia artificial. Y nos recordó ese miedo y esa incertidumbre, que ahora ya no produjo desconfianza, sino curiosidad y ganas de explorar nuevos horizontes en la docencia.
El presente trabajo es un relato de las experiencias vividas en este apasionante camino de cambios, que no dudamos, nos llevará a buen puerto.

Palabras clave: ChatGPT, EaD, innovación educativa, experiencia áulica.

ABSTRACT

The unknown leads to fear. Fear leads to uncertainty. Uncertainty leads to distrust, and distrust is the first symptom of failure. Although the aim of this work is not to romanticize these very human feelings, they were the protagonists when our chair began to walk the current path we are on, and whose starting point was the COVID-19 pandemic in 2020. The first part of this path led us to incorporate tools of Distance Education (DE), redesign the proposal, select and adapt the content, produce audiovisual material, and plan the activities. Spontaneity, in those difficult times, took on a prominence never before so highly valued.
With the return to face-to-face teaching, new challenges arose, but undoubtedly, the most interesting one came from the hand of a technology that, although we did not know it, has existed almost as long as computers have existed: artificial intelligence. And it reminded us of that fear and uncertainty, which now no longer produced distrust, but curiosity and the desire to explore new horizons in teaching.
The present work is an account of our experiences in this exciting path of change, which we have no doubt will lead us to a good harbor.

Keywords: ChatGPT, DE, educationalinnovation, classroomexperience

1. INTRODUCCIÓN

La implementación de tecnologías en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la educación superior ha sido un desafío permanente actualizado sin pausa por la constante evolución de las TIC. Las competencias digitales, tanto de los docentes como de los estudiantes universitarios actuales constituyen, a la vez, requerimientos y commodities. En este marco, las instituciones educativas están conminadas a procesos de innovación que les permitan adaptarse raudamente a estos contextos dinámicos.

Con el objetivo claro de previsión y protagonismo en este reto de innovación permanente, la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la UNT creó, en el año 2010, el Centro de Educación a Distancia e Investigación en Tecnologías Educativas (CEDITE).

Un proyecto de innovación responde a una necesidad de diferenciación estratégica. La diferenciación es la meta y la innovación es el proceso para conseguirla. Por consiguiente, para que una organización sea innovadora ha de sistematizar y ejecutar de forma consciente y controlada su desarrollo estratégico (Gros Salvat, Lara Navarra, 2009).

Entre las acciones más importantes según el "Plan Estratégico para la inserción de TIC en procesos educativos y la implementación de la EAD en la FACET (2010 – 2014)", el CEDITE, en el marco de proyectos de investigación desarrollados a través de estos años, promovió la difusión de la innovación educativa en las aulas universitarias y creó el Entorno FACETVirtual para la promoción de la modalidad y la creación de Aulas Extendidas como complemento del dictado presencial en todas las asignaturas de grado de la unidad académica (Torres Auad et al., 2013).

La cátedra de la asignatura Sistemas Operativos de las carreras Licenciatura e Ingeniería en Informática de la FACET cuenta, desde hace ya varios años, con un aula virtual como extensión de su dictado tradicional y es así como el año 2020 la encuentra bien posicionada para hacer frente al desafío planteado por la ASPO[1] con motivo de la pandemia.

Los docentes responsables de la asignatura son integrantes del CEDITE y la virtualidad forzada de ese entonces los motivó a ir más allá de la "educación remota de emergencia"[2] implementada como recurso posible por la generalidad de las instituciones educativas. Fue el momento de trabajar sobre una propuesta virtual más definida y en la producción de material propio.

2. LA EXPERIENCIA, PARTE 1.

2.1. *Renovando las asignaturas.*

El equipo de la cátedra de *Sistemas Operativos* puso el foco en el uso de tecnologías para apoyar los procesos de enseñanza y aprendizaje, mucho antes del año 2020. Por ello, la adaptación a la realidad impuesta por la pandemia que llevó a interrumpir la presencialidad en las aulas no fue resistida, sino que, por el contrario, trajo aparejado un arduo trabajo de planificación, reenfoque de metodologías, producción de contenidos propios y estrategias de evaluación innovadoras. Y los resultados, convalidados por las encuestas realizadas a los estudiantes, fueron exitosos. A partir de esta experiencia e inquietos por la necesidad de evidenciar los cambios que creíamos necesarios, tomamos la iniciativa de replantear/rehacer las asignaturas que dictamos desde la cátedra.

Partimos de reemplazar la bibliografía que históricamente se utilizaba, ya que ésta sólo tuvo una única edición en el año 1998 y no tuvo ninguna actualización posterior. Por otro lado, seleccionamos el contenido que consideramos indispensable que los alumnos sepan y tengan asimilado al final de la asignatura, pensando sobre todo en la obtención de competencias para sus futuras vidas profesionales. También renovamos la cartilla de trabajos prácticos, agregando actividades que sean más acordes para la formación de programadores, esto es, ejercicios orientados a la investigación y elaboración de códigos que ejemplifiquen una aplicación directa en la computadora. Por

[1] ASPO: Aislamiento social, preventivo y obligatorio. Decreto 297/2020. DECNU-2020-297-APN-PTE

[2] Modalidad educativa que utilizaron las instituciones educativas para dar continuidad a la educación durante la pandemia de COVID-19; se caracterizó por el uso de Internet como medio de comunicación entre profesores y alumnos.

último, pero no menos importante, ajustamos los módulos de las asignaturas y sus contenidos para que tengan un fluir de conocimiento consistente, que también sea aplicable directamente a la opción pedagógica y didáctica a distancia.

2.2. *Un viaje fascinante.*

Pero la mayor apuesta fue, sin duda alguna, la elaboración del material audiovisual propio que fortalezca ese plan.
Después de debatir sobre la estrategia a seguir para encarar las clases en ese nuevo escenario que nos planteó el ASPO, llegamos a la conclusión que, dadas las características de las asignaturas que dictamos, lo más apropiado era reemplazar las clases presenciales con videos que estén disponibles de manera asincrónica, de modo que los alumnos puedan consultarlos las veces que sea necesario. Además, una clase semanal sincrónica de consulta, completaría la estrategia. Este esquema nos pareció el que mejor se ajustaba a la mayoría de las posibles realidades de los alumnos, algo que luego pudimos confirmar a través de encuestas.
El primer acercamiento a la implementación de este plan fue buscar material existente, en lo posible en español, de manera que podamos comenzar con el dictado en tiempo y forma. Una fugaz investigación en Internet nos arrojó un panorama poco alentador: en ese entonces, había poco material audiovisual, muy poco en español, en la mayoría de los casos, muy superficial, y que no llegaban a completar el programa de la asignatura. Eso, sin mencionar lo poco atractivo (por no decir abiertamente, aburrido) que nos resultaron.
Fue entonces cuando decidimos lanzarnos a lo que luego fue la experiencia más fascinante de nuestra labor docente: producir nuestro propio material audiovisual. ¿Cómo explicar el vértigo que significaba tamaña aventura? Las clases ya habían comenzado, había que ponerse al día, convocar a los alumnos para explicarles el plan, generar en ellos el balance adecuado entre paciencia y expectativa, para que el impacto que produzca cada video que publicamos sea el esperado.
Inevitablemente, la primera etapa de la aventura fue el aprendizaje de las herramientas que nos permitan producir el material audiovisual: software de grabación de audio, editores de video, y cualquier otro producto que nos facilite la elaboración de animaciones. Esto representó una carrera contra el tiempo sin precedentes, una carrera que, hasta ese momento, no tenía el mejor de los pronósticos. De pronto y en tiempo récord, nos convertimos en los guionistas, animadores, sonidistas, locutores y directores de un producto que, tímidamente, fue cobrando vida y ganándose la atención de los alumnos.
Con la atención llegó el interés, y con el interés llegó la expectativa por el próximo video. Para lograr ese efecto nos dejamos llevar por un recurso que quizá sea poco común en la enseñanza de carreras de ciencias exactas: la espontaneidad. Si bien cada video plantea un tema que forma parte de un programa (esa sería la parte "rígida" y "predecible"), la manera en la que éstos son narrados es lo que les da el "sabor propio" de la cátedra. En ellos nos permitimos ser nosotros mismos, tal como nos presentamos frente al aula en la presencialidad, condimentando la solemnidad y formalidad que caracterizan a la enseñanza universitaria con un poco de humor, una pequeña chispa cada tanto, para que la experiencia de aprender una profesión sea distinta, amena, sin el peso innecesario de una clase magistral.
Aprovechando un recurso que lleva años de éxito en las redes sociales, le dimos forma a ese humor que nos suele caracterizar en las clases presenciales: el meme. Un meme bien diseñado, organizado y con un objetivo claro puede facilitar la comprensión de un tema sin importar su complejidad, así como favorecer la creatividad, el ingenio y el desarrollo de una visión más amplia del entorno en el que se desenvuelve el estudiante (García Martínez, 2021).
Los memes han llegado a ser parte del ADN del espacio virtual. De esta forma, debe considerarse como un modo de escribir y leer en la era digital. Los estudiantes son capaces de establecer nexos entre información y enseñanza, entre la cultura en la que están inmersos y su educación. En este sentido, las posibilidades de transformar, analizar, reinterpretar y luego resignificar del meme, no tienen límites (Vera Campillay, 2016).
Y es que el meme es, sin dudas, esa chispa de picardía, breve, concisa y efectiva, que es capaz de arrancar una sonrisa, y por qué no, alegrar un día que no empezó de la mejor manera. Dicen que una imagen vale más que mil palabras, y si

a esa imagen la acompañamos con una sonrisa, ¿cuánto más puede valer?

3. LA EXPERIENCIA, PARTE 2.

3.1. *El futuro que se viene.*

El proceso educativo fue modificándose con el paso del tiempo, no sólo por la aparición de nuevas corrientes teóricas acerca de la enseñanza y el aprendizaje, sino también, al adaptarse a los avances de la tecnología, que siempre ha estado presente en la educación desde que se implementó la palabra impresa. La llegada, y la posterior evolución de Internet y de las tecnologías de información y comunicación (TIC), transformaron, aún más, el paradigma educativo actual.

El complejo entorno tecnológico que caracteriza hoy a nuestras sociedades –y donde se socializan las generaciones más jóvenes– ha creado hábitos y prácticas culturales que no se podían imaginar hace veinte años y más. Uno de los usos tempranos de las computadoras y de la web ha sido la práctica de los videojuegos. A este fenómeno, debemos sumar el desarrollo de las redes sociales, que ha colonizado en buena medida las prácticas culturales (las formas de relación social y vínculos interpersonales) de los usuarios de la red, hasta mencionar finalmente al otro gran tema que tiene que ver con el acceso: la adquisición y renovación de los distintos equipos de navegación, especialmente, los teléfonos celulares. *Estas nuevas tecnologías no solo han generado diferentes y novedosas prácticas culturales, sino que también registran distintos modos de apropiación de estas,* (Dussel I, Quevedo L., 2010).

Como docentes universitarios, cuestionamos e interpelamos a nuestros colegas: ¿nosotros hemos podido adaptarnos y "evolucionar" en la misma dirección? ¿Cómo se transforma la práctica educativa en los claustros universitarios a partir de esta realidad? ¿La enseñanza tradicional ha dado lugar a la innovación de los procesos de enseñanza aprendizaje?

Evidentemente la problemática no es sólo local, la UNESCO ha publicado ya en 2018 la tercera versión del "Marco de competencias de los docentes en materia de TIC"[3], como una guía formal que permite conocer cuáles serían las competencias a las que los docentes deberíamos "evolucionar".

Reflexionando sobre esta "adaptación" tan necesaria como conveniente, de los profesores al contexto de la educación universitaria y a los estudiantes, destinatarios de nuestra tarea docente, nos planteamos la posibilidad de implementar herramientas no convencionales, al menos, por el momento.

En este camino nos encontramos con muchas herramientas interesantes, las cuales, en la mayoría de los casos, tuvimos que aprender desde cero para lograr nuestros objetivos de innovación. Pero sin duda alguna, la que captó nuestra atención en particular fue una que actualmente está dando mucho que hablar, no sólo en el ámbito de la informática, sino en todos los aspectos posibles de la vida: la utilización de Inteligencia Artificial.

No resulta difícil comprender cómo una herramienta de IA[4] puede transformar los procesos de aprendizaje en la educación superior. ¿Para bien o para mal? ¿Para mejor o para peor? Esa es una pregunta que sólo podrá responderse involucrándonos en la cuestión.

Al respecto, la UNESCO *"está decidida a ayudar a los Estados Miembros para que saquen provecho del potencial de las tecnologías de la IA con miras a la consecución de la Agenda de Educación 2030, a la vez que garantiza que la utilización de las tecnologías de la IA en el contexto educativo esté regida por los principios fundamentales de inclusión y equidad*"[5].

Por otra parte, en el marco del Consenso de Beijing, la UNESCO elaboró una publicación con miras a mejorar el estado de preparación delos encargados de formular políticas educativas en materia de inteligencia artificial.[6]

[3] La última versión del Marco de competencias de los docentes en materia de TIC UNESCO, publicada en 2018, tiene en cuenta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, y está ideada para preservar las competencias que siguen siendo pertinentes y enmarcarlas en el contexto de los actuales avances tecnológicos y las exigencias cambiantes de la vida y el trabajo.

[4] IA: inteligencia artificial. También se suele usar la sigla en inglés, AI (artificial intelligence).

[5] https://es.unesco.org/themes/tic-educacion/inteligencia-artificial

[6] https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000376709

Todo esto nos motivó a encarar la temática de la inclusión de la IA en el dictado de las asignaturas de carreras universitarias, iniciando una experiencia en la cátedra de Sistemas Operativos mencionada.

Queremos en este punto, realizar previamente un apartado para reflexionar sobre la innovación en las aulas de los claustros universitarios, y en la educación superior en general.

En muchas ocasiones, cuando algunas novedades tecnológicas llegan al aula universitaria de la mano de los estudiantes, la respuesta habitual de los docentes es la susceptibilidad y la desconfianza, a tal punto que se termina prohibiendo su uso. Basta como ejemplo recordar las tensiones que se dieron alguna vez (y que todavía se dan) en torno a los teléfonos celulares en clase. Nos imaginamos que, en la época de las reglas de cálculo, las calculadoras científicas deben haber provocado el mismo efecto… No obstante, en la cátedra, como también entre los demás integrantes del CEDITE se comparte otra visión, y por ello, iniciamos un camino que relatamos a continuación.

Existen varios tipos de herramientas de inteligencia artificial que pueden ser utilizadas en contextos educativos. Algunas son de uso general y otras son más específicas. Algunos ejemplos: sistemas de tutoría inteligente, plataformas de aprendizaje adaptativo, sistemas de recomendación de contenidos, analítica de aprendizaje, realidad virtual y aumentada, herramientas de escritura asistida por IA, reconocimiento de voz, chatbots educativos, modelos de texto a imagen y, por supuesto, ChatGPT, un sistema de inteligencia artificial diseñado para mantener conversaciones a través de texto escrito (Vallejo y González, 2023).

3.2. *El futuro que ya había llegado.*

Puntualmente, probamos la herramienta ChatGPT[7], un chatbot de IA especializado en el diálogo, el cual utiliza un modelo de lenguaje ajustado con técnicas de aprendizaje tanto supervisadas como de refuerzo. Si bien fue lanzado a finales de noviembre de 2022 como aplicación web por la empresa OpenAI, con sede en San Francisco, este chatbot irrumpió en el mercado casi de la noche a la mañana, aunque el éxito no surgió espontáneamente. Su masividad seguramente se debe a que es la iteración más pulida hasta la fecha de una línea de grandes modelos lingüísticos que se remonta añosatrás. Hoy está preparado con un gran nivel de accesibilidad y facilidad de uso y propone un nivel de asertividad considerable.

"OpenAI entrenó a GPT-3 para dominar el juego de la conversación e invitó a todo el mundo a venir a jugar. Millones de personas hemos jugado desde entonces" (Heaven, 2023).

3.3. *El futuro hecho presente.*

Decidimos probar con un ejercicio de uno de los prácticos nuevos que desarrollamos, en el cual proponemos la elaboración de un código en lenguaje C que implemente la creación de hilos de un proceso y la posterior identificación de estos utilizando algunos comandos especiales del sistema operativo. Nos sorprendió, por un lado, la simpleza del ejemplo con que ChatGPT nos respondió, y, por otro lado, la "elocuencia" con que nos explicó los detalles del código. Pero, sobre todo, nos sorprendió que cumplía sobradamente con la consigna del ejercicio del práctico.

Empezamos con una pregunta concisa:

"¿Puedes crear un programa en lenguaje C que cree hilos de procesos que simplemente impriman un mensaje en pantalla? La cantidad de hilos que genera deberá indicarla el usuario y el máximo número de hilos que va a poder crear es de 100 hilos".

Cordialmente, nos respondió:

*"¡Claro! Aquí tienes un ejemplo de cómo crear hilos de procesos en C que imprimen un mensaje en pantalla. El número de hilos se ingresa por el usuario y no puede ser mayor a 100".*Y el código que se creó es el indicado en la Tabla 1.

En este programa, la función *printMessage* simplemente imprime un mensaje en pantalla con el número de hilo asignado. La función *pthread_create* se encarga de crear los hilos y llama a la función *printMessage* con el número de hilo correspondiente. La función *pthread_exit* se usa para finalizar los hilos. Un detalle importante: el valor de retorno de

[7]ChatGPT es un modelo de lenguaje capaz de producir texto de forma autónoma, que puede ser utilizado para tareas de generación de texto, traducción automática, resúmenes, entre otras. En pocas palabras, es una herramienta de inteligencia artificial que se utiliza para generar respuestas a preguntas y realizar otras tareas naturales del lenguaje.

pthread_create se utiliza para verificar si el hilo se creó correctamente. Si *pthread_create* devuelve un valor diferente a cero, se imprime un mensaje de error y se sale del programa.

```
#include                          <stdio.h>
#include                         <pthread.h>

#define          MAX_THREADS           100

void    *printMessage(void    *threadID)    {
        longtid;
        tid        =        (long)threadID;
        printf("Hola desde el hilo #%ld\n",
tid);
        pthread_exit(NULL);
}

intmain()                                  {
        intnumThreads;
        printf("Ingrese   la   cantidad   de
hilos  que  desea  crear  (máximo  100):  ");
        scanf("%d",           &numThreads);
        if  (numThreads<  1  ||  numThreads>
MAX_THREADS)                               {
        printf("Número      inválido      de
hilos.\n");
        return                             1;
        }

        pthread_tthreads[numThreads];
        intrc;
        long                               t;
        for  (t  =  0;  t  <numThreads;  t++)  {
        printf("Creando  hilo  %ld\n",  t);
        rc   =   pthread_create(&threads[t],
NULL,     printMessage,      (void     *)t);
        if              (rc)               {
printf("Error  al  crear  hilo  %ld.  Código  de
error:         %d\n",         t,         rc);
return                                     1;
        }
     }
pthread_exit(NULL);
}
```

Figura 1. Código creado con la herramienta

Luego refinamos el código que queríamos obtener para que sea funcional a la didáctica que queríamos plantear en clase para explicar el ejercicio, pidiéndole: *"¿puedes agregar algo para que los hilos queden creados y que finalicen luego de 5 minutos?"*. Para este ejemplo se usa la función *sleep* para esperar 5 minutos antes de cancelar los hilos. Después de esperar los 5 minutos, se recorren los hilos creados y se utiliza la función *pthread_cancel* para cancelar cada hilo. La función *pthread_cancel* envía una señal al hilo para que termine su ejecución de manera abrupta. Es importante tener en cuenta que cancelar un hilo puede dejar recursos sin liberar, por lo que es necesario tener cuidado al usar esta función. En este ejemplo, los hilos solo imprimen un mensaje en pantalla, por lo que no hay recursos críticos que deban ser liberados. En una aplicación real, es necesario tener en cuenta los recursos que puede estar utilizando cada hilo antes de cancelarlos.

Por último, le pedimos que agregue código para que sea posible visualizar el TID, número que asigna el sistema operativo como identificador de un hilo, para lo cual utilizó la función *syscall(SYS_gettid)*, la cual invoca directamente a una llamada al sistema[8] para obtener ese identificador.

4. LA EXPERIENCIA, PARTE 3.

4.1. *El futuro, cuestionado.*

Esta experiencia nos llevó a preguntarnos: "¿y si le planteamos a los alumnos que utilicen ChatGPT para hacer el práctico?". De esa pregunta surgió el debate.

En primer lugar, reconocemos lo peligroso que puede ser utilizar una herramienta que resuelva completamente el problema, sin dar lugar a la investigación y elaboración propia por parte del alumno. Es sabido que, a pesar de su asombroso avance y nivel de aprendizaje, la probabilidad de equivocarse no es baja. Pudimos comprobarlo preguntándole un poco más en profundidad sobre lo que dice la teoría al respecto: ¿en qué contexto se crean los hilos, en el de usuario o del núcleo del sistema operativo? Su respuesta puede resultar confusa si los conceptos teóricos no están claros, e incluso puede llevar a un aprendizaje erróneo, sin mencionar que los docentes pueden llegar a ser objetados. Esto se acentúa considerando que, como si de una persona se tratara, la IA aprende en la medida que se la entrena con las preguntas, pero también puede equivocarse si la entrenamos mal.

En segundo lugar, son claros los beneficios que puede aportar esta herramienta, comparándola con nuestra experiencia como estudiantes, en una época en la que, con viento a favor teníamos acceso a una fotocopia de un libro o a un apunte de alguien más avanzado en la carrera, y que naturalmente podía tener sesgos de errores propios de la interpretación del autor. Y cuando ya estábamos terminando de cursar,

[8]Una llamada al sistema es una función especial de un sistema operativo que hace las veces de interfaz entre éste y un programa de usuario que solicita utilizar funcionalidades a las que por defecto no tiene acceso.

ya cansados y ansiosos por recibirnos, aparecieron tímidamente recursos en Internet (¡y la Internet misma!) como Wikipedia y YouTube, entre otros. Por si fuera poco, a partir de la pandemia se multiplicó exponencialmente la cantidad de canales de YouTube dedicados a clases virtuales asincrónicas.
Hasta ahí, esas herramientas sólo dan soporte a las clases, en cuanto a explicar los contenidos y tener la posibilidad de verlos una y otra vez. La revolución que nos presenta ChatGPT es que nos puede resolver ejercicios inéditos, y, por si fuera poco, nos explica "lo que hizo". Y, si tenemos dudas puntuales, "se focaliza" en esas dudas y brinda un poco más de explicación, convirtiéndose básicamente en un estudiante que resuelve, y un docente que te explica lo que resolvió, algo que antes ni siquiera imaginamos posible.

4.2. *La IA te da sorpresas, sorpresas te da la IA.*

Mientras debatimos si incorporar el uso de ChatGPT, la realidad nos volvió repentinamente los pies en la tierra. Planteamos el ejercicio en clase, y para nuestra sorpresa, los alumnos lo utilizaron sin que siquiera lo hayamos mencionado. Porque esa es una hermosísima característica de las nuevas generaciones: si pueden estar un paso más allá, ¿por qué no?
Cada uno le preguntó a la IA cómo resolver el ejercicio, o mejor dicho, le indicaron a cada uno, a su modo, cómo generar el código. Y si bien los resultados fueron en términos generales, similares, hubo diferencias sutiles en cuanto a la manera de implementar en el lenguaje. Y ahí otra sorpresa: las dudas que plantearon los alumnos fueron precisamente sobre esas diferencias. Además, teniendo en cuenta que el contenido necesario para resolver el ejercicio no forma parte de los programas de las asignaturas previas en las que aprendieron las nociones básicas de programación y del lenguaje en sí, sino que es precisamente una propuesta de nuestra asignatura para que los alumnos investiguen al respecto, fue interesante ver que tienen el nivel necesario para interpretar globalmente el código.
En algunos casos fueron "directo al grano", esto es, le pidieron directamente que genere el código en C, mientras que otros le pidieron resolver cada apartado del ejercicio, algunos de los cuales son un repaso de la teoría. Incluso fueron más allá, preguntándole algunas de las observaciones que debían hacer luego de ejecutar el programa en C: se trata del orden en que se crean y ejecutan los hilos creados. Le preguntaron a "*Chatie*"[9] de qué dependía este orden, y la respuesta que obtuvieron era coherente con la explicación que dimos en clase, para nuestra tranquilidad.
Y ahí tuvimos otro llamado de atención. Al revisar los resultados que recopilamos, provistos por los mismos alumnos, pudimos comprobar que en todos los casos las respuestas, tanto a las preguntas teóricas que hicieron como los códigos que obtuvieron, eran correctas y coherentes con lo dictado en clase. Sin embargo, al ser las respuestas altamente dependientes de cómo se le pregunta, el riesgo de brindar información imprecisa o incorrecta no deja de ser considerable.

4.3. *Lo que Chatie nos dejó (y el viento no se llevó).*

Finalizado el práctico, y ante la adrenalina que generó la nueva herramienta, improvisamos una nueva consigna *off therecord*: de manera opcional y voluntaria, todos aquellos que utilizaron ChatGPT para resolver los ejercicios fueron invitados a realizar un pequeño informe en el que detallen los *prompts*[10] utilizados, los resultados obtenidos, incluyendo los detalles y explicaciones que arroja la IA, y por supuesto, sus propias conclusiones.
La adhesión a esta nueva actividad fue mucho mejor de la esperada: más de la mitad (un 65% aproximadamente, esperábamos menos de la mitad) de los alumnos enviaron el informe, con más o menos elaboración, pero lo interesante fue la gran variedad de formas de *promptear* y las pocas diferencias entre los resultados que obtenían. Después nos enteramos, charlando en los recreos entre clases, que varios de los que no enviaron el informe rehicieron el práctico en casa usando la IA, sólo por curiosidad.
Algunos datos interesantes que podemos destacar son los siguientes:

[9] A esta altura ya nos encariñamos y le pusimos un nombre, cual mascota.
[10] Del inglés, indicaciones. Hoy convertido en un calco semántico en la jerga informática, donde *promptear* es la acción de dar instrucciones a una IA para obtener un resultado, y un *prompter* es una persona (humana, claro) especialista en promptear.

- El 70% de los alumnos que presentaron el informe accedieron a la promoción de la materia. El resto, regularizaron con buen rendimiento en los parciales.
- Si bien no tenemos datos precisos, algunos de los alumnos que no presentaron el informe, pero que rehicieron el práctico con la IA, también accedieron a la promoción.
- Dos alumnos que tienen experiencia laboral en el ámbito del desarrollo de software, nos comentaron que utilizaron ChatGPT para resolver errores de código en los que se habían bloqueado.

En general, hubo una excelente aceptación de los alumnos en la incorporación de la IA como herramienta complementaria al material de estudio, demostrando interés en incorporarla a futuro en el ámbito laboral.

5. CONCLUSIONES Y NUEVOS RETOS

Las IA están actualmente en boca de todos, pero existen desde hace ya mucho tiempo. Fueron incorporándose soslayada pero firmemente en muchos aspectos cotidianos, desde el teclado predictivo de un teléfono inteligente (qué casualidad, ya les decíamos así antes de esta moda de las IA), pasando por los motores de búsqueda, hasta en las redes sociales, que nos sugiere "personas que tal vez conozcas", con una asombrosa capacidad de "saber" que, efectivamente, conocemos a esas personas. Los mismos sistemas operativos la incorporaron desde hace al menos dos generaciones atrás, como herramienta para optimizar su rendimiento.

Ante el panorama de que ChatGPT está siendo incorporado por nuestros alumnos como una herramienta académica más, se vuelve crítico el rol del docente al momento de moderar su uso. Es cierto que no tiene sentido prohibirlo, ya que sería ocultar el sol del avance tecnológico con los dedos del miedo a los cambios. Sin embargo, es necesario involucrarnos en el asunto para que no derive en un desborde incontrolable.

Como afirma García Peña: "No debemos tener miedo a la IA, debemos abrazar y aprovechar al máximo los beneficios que ofrece la inteligencia artificial y eliminar los mitos y fobias que se tienen hacia esta tecnología" (García Peña et al., 2020).

Aprender a usarlo, investigar las mejores maneras de preguntar para entrenarlo (inevitablemente lo entrenamos cuando lo usamos), ver de qué manera puede responder sobre el contenido de las asignaturas que dictamos y, en base a ello, planificar actividades que lo incorporen sin perder de vista objetivos pedagógicos que incentiven a los alumnos a investigar y resolver de manera activa las consignas propuestas en los prácticos, utilizando la IA como una herramienta de estudio y no como una varita mágica para poder presentar un práctico sobre la hora, son los desafíos que enfrentamos de ahora en adelante.

Incluso para la redacción de este artículo, ChatGPT fue utilizado como herramienta, a consciencia, siempre con el compromiso de ser nosotros, los humanos, los que generamos el contenido. Como dice la canción, el futuro llegó hace rato.

6. REFERENCIAS

Dussel Inés, Quevedo Luis (2010) *Educación y nuevas tecnologías: los desafíos pedagógicos ante el mundo digit*al. VI Foro Latinoamericano de Educación; 1a ed. - Bs As.: Santillana. 80 p.; 15x21 cm. ISBN 978-950-46-2252-9

García Martínez, F. (2021). *Los memes gráficos como recurso didáctico en la educación secundaria*. EDUCA. Revista Internacional Para La Calidad Educativa, 1(2), 31–51. Recuperado de: https://revistaeduca.org/index.php/educa/article/view/12

García Peña V., Mora Marcillo, Alex B., Avila Ramírez J. (2020). "*La inteligencia artificial en la educación",* Revista científica Dominio de las Ciencias. Vol. 6, núm. 3, Especial septiembre 2020, pp. 648-666. ISSN: 2477-8818

Gros Salvat, B y Lara Navarra, P. (2009). *"Estrategias de innovación en la educación superior: el caso de la Universitat Oberta de Catalunya"*. Revista Iberoamericana de Educación, n° 49. ISSN: 1022-6508

Heaven Will Douglas (2023). *"ChatGPT no surge de la nada: es el resultado de 30 años de prueba y error"*. MIT TechnologyReview. Recuperado de:

https://www.technologyreview.es/s/15081/chatgpt-no-surge-de-la-nada-es-el-resultado-de-30-anos-de-prueba-y-error

Torres Auad L., García R., Martel J.E., Rodríguez Rey P., Guzmán M.F. y Auvieux N.G. (2013) *"Entornos Virtuales de Aprendizaje en la educación superior: riesgos y promesas. Claves para el diseño e implementación de aulas virtuales y extendidas"*. Revista CET N° 36. ISSN: 1668-9178.

Vallejo Alcira, González A (2023). *La aplicación de la inteligencia artificial en educación: una reflexión crítica sobre su potencial transformador*. AULA CAVILA. UNLP. Recuperado de:https://blogs.ead.unlp.edu.ar/boletinaulacavila/2023/02/27/la-aplicacion-de-la-inteligencia-artificial-en-educacion-una-reflexion-critica-sobre-su-potencial-transformador/

Vera Campillay, Esteban (2016). *El meme como nexo entre el sistema educativo y el nativo digital: tres propuestas para la enseñanza de Lenguaje y Comunicación*. REVISTA EDUCACIÓN Y TECNOLOGÍA, Año 05. Número 08. Vol 2. 2016, pp 1-15

Una perspectiva relacional de las actitudes hacia la Matemática

Tarifa, Héctor R.[1]; Pérez Ibarra, C. Marcelo[1];Medina, José L.[1]; Condorí, Patricio O.[1]

(1) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.
hart969@hotmail.com; cmperezi@fi.unju.edu.ar, medinajoselo@hotmail.com, patricioomarcondori@hotmail.com

RESUMEN

El Análisis de Redes Sociales (ARS) es un área multidisciplinar que se enfoca en el estudio de las estructuras sociales, las relaciones entre sus miembros y el impacto de éstas en la estructura global. Así, el ARS permite medir y analizar las características de una red social a fin de identificar las estructuras sociales subyacentes y sus componentes más relevantes. En el presente artículo, en el marco del Curso de Nivelación de la Facultad de Ingeniería (FI), se describe una red bimodal de afiliación conformada por una muestra de aspirantes a ingresar a la FI de la UNJu (2022) y un conjunto de actitudes hacia la matemática. Para lograr esto, al finalizar el curso se propuso a los aspirantes que, de forma anónima y voluntaria, completasen el cuestionario "Actitudes hacia la matemática" compuestopor27 ítems que evalúan actitudes positivas (13) y negativas (14) hacia la matemática, usando una escala multivaluada. El cuestionario se implementó en el aula virtual del Sistema de Ingreso de la FI en el entorno virtual de aprendizaje de la UNJu. De los 1470 aspirantes matriculados, 658 participaron del cuestionario y los resultados obtenidos se analizan en este artículo.

ABSTRACT

Social Network Analysis (SNA) is a multidisciplinary area that focuses on the study of social structures, the relationships between its members and their impact on the global structure. Thus, the SNA makes it possible to measure and analyze the characteristics of a social network in order to identify the underlying social structures and their most relevant components. In this article, within the framework of the Leveling Course of the Faculty of Engineering (FI), a bimodal affiliation network is described, made up of a sample of applicants to enter the FI of the UNJu (2022) and a set of attitudes towards mathematics. To achieve this, at the end of the course, applicants were proposed to anonymously and voluntarily complete the questionnaire: "Attitudes towards mathematics" composed of 27 items that evaluate positive attitudes (13) and negative ones (14) towards mathematics, using a multivalued scale. The questionnaire was implemented in the virtual classroom of the FI Admission System in the virtual learning environment of the UNJu. Of the 1,470 registered applicants, 658 participated in the questionnaire and the results obtained are analyzed in this article.

Palabras claves: ARS – hiperredes – actitudes – estudiantes

Keywords: SNA – hypernetworks – attitudes – students

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los grandes problemas que aqueja a la educación universitaria argentina es la deserción académica de los estudiantes, particularmente, elevada en las carreras de ingeniería.

Existen diversas y variadas causas que influyen en esta problemática y que pueden considerarse de orden interno a las instituciones (plantel docente reducido, instalaciones y/o recursos insuficientes, planes de estudios desactualizados, etc.) y de orden externo a éstas (contexto social del ingresante, competencias de ingreso para carreras científico–tecnológicas, vocación acorde a la elección de la carrera elegida, etc.).

Enfocando el análisis en las causas exógenas, concretamente, en la relación entre la deserción y las percepciones psicológicas de los estudiantes

de carreras de ingeniería respecto al constructo matemático, surgen las siguientes preguntas: ¿las actitudes de los estudiantes hacia la Matemática influyen en la deserción?,¿actitudes positivas hacia la Matemática favorecen el rendimiento académico?, ¿las actitudes negativas hacia la Matemática pueden revertirse? Estas cuestiones reflejan la importancia de estudiar las actitudes hacia la matemática con el fin de diagnosticar la predisposición de los estudiantes hacia el aprendizaje de esta ciencia.

Teniendo en cuenta que las "Actitudes hacia la Matemática" pueden ser definidas como la tendencia psicológica evaluativa, inferida a partir de respuestas cognoscitivas, afectivas y conductuales, que manifiestan algún grado de aprobación o desaprobación hacia la matemática; en el presente artículo se propone un análisis relacional de las manifestaciones externas de este constructo en un grupo de 658 aspirantes a ingresar a la Facultad de Ingeniería de la UNJu, en el Curso de Nivelación 2022.

Este punto de vista no tradicional se lleva a cabo mediante el ARS que permite estudiar las relaciones que se establecen entre dos conjuntos de entidades, es decir, la red social conformada por ellas. De esta manera ,se intenta a explicar cómo influyen las relaciones y el medio en el comportamiento de las entidades de una red.

En este trabajo, aplicando conceptos, técnicas y herramientas del ARS, se aborda el estudio de una hiperred de aspirantes y actitudes hacia la matemática, a fin de identificar las actitudes predominantes en el grupo y establecer los mecanismos necesarios para fortalecer aquellas actitudes que regulan mejor la actuación del estudiante en su trayectoria académica. Para lograr lo propuesto, se define el constructo psicológico a analizar, el concepto de red social y se presenta una introducción al ARS (tipos de redes, redes de afiliación y métricas). Además, se describe el caso de estudio, se muestran los resultados obtenidos y se presentan conclusiones.

Este artículo se enmarca en el proyecto de investigación "Aplicaciones del Análisis de Redes. Sociales (ARS) como herramienta teórico–metodológica para la elaboración de diagnósticos socio–educativos" (código D/0170), acreditado por SeCTER de la Universidad Nacional de Jujuy (UNJu) y ejecutado por un grupo multidisciplinar de docentes investigadores de la Facultad de Ingeniería y la Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales de la UNJu.

2. ACTITUDES HACIA LA MATEMÁTICA

No resulta fácil definir el término "actitud" ya que, en primer lugar, es un vocablo polisémico y, en segundo lugar, circunscribirlo dependerá de la posición teórica que intente explicar la cognición, emociones y conductas manifiestas como sus componentes (Ajzen & Fishbein, 2005).

Hoy en día, se tiende a definir las actitudes como tendencias evaluativas en concordancia a la flexibilidad teórica–metodológica de su definición operacional. En este sentido, la definición debe ser lo suficientemente maleable de modo que permita a los investigadores profundizar el estudio de las actitudes como constructo psicológico (Eagly & Chaiken, 2005).

Estos mismos autores afirman que las personas manifiestan actitudes en base a la interacción de sus conocimientos, afectos y respuestas conductuales respecto a una entidad, es decir, las actitudes consisten en la evaluación general que proporciona la información derivada de los elementos cognoscitivos, afectivos y conductuales.

Tomando en cuenta lo anterior, para el análisis de las respuestas actitudinales de los estudiantes ante el aprendizaje matemático es necesario, contar con un soporte teórico sólido, para tener en claro el alcance teórico del constructo: *actitudes*.

Por lo tanto, la variable "Actitudes hacia la Matemática" puede ser definida como la predisposición psicológica evaluativa, deducida a partir de respuestas cognoscitivas, afectivas y conductuales, que manifiestan algún grado de aprobación o desaprobación hacia la matemática (Farías, 2011).

Considerando esto, es posible hablar de dos categorías de actitudes: positivas y negativas. La primera puede derivarse de creencias propicias, expresiones de agrado y conductas explícitas positivas, que conforman una apreciación favorable del individuo sobre sí mismo y de su relación con la matemática. En contraposición, la segunda categoría se deduce a través de la expresión de creencias adversas, expresiones de desagrado y conductas explícitas negativas, que conforman una apreciación desfavorable del individuo sobre sí mismo y su relación con la matemática.

3. REDES SOCIALES

El sociólogo alemán Georg Simmel definió el concepto de sociabilidad como "*el deseo de*

interactuar con otros individuos en un determinado espacio". Para este autor, este deseo deriva de la necesidad del ser humano de interactuar con sus pares para satisfacer distintas necesidades: emocionales, sociales, de pertenencia grupal y de integración comunitaria (Simmel, 1939). Esto, pone en evidencia la preferencia de los individuos en establecer y mantener relaciones con otros, más allá de simples interacciones. Así, un conjunto de relaciones conforma un sistema relacional denominado red social.

Desde una perspectiva formal, Stanley Wasserman y Katherine Faust (2013) establecen que una red social está conformada por conjuntos finitos de actores y las relaciones definidas entre ellos. A partir de esto, proponen una definición abstracta del concepto de red social (ecuación 1):

$$\varphi = \langle S, G, X \rangle \quad (1)$$

donde S es una estructura algebraica formada por dos conjuntos:N de actores y L de paresordenados de actores para los cuales hay vínculos presentes. G es el grafo o sociograma y X la matriz de adyacencia o sociomatriz.

Es notable la equivalencia entre las notaciones algebraica,la teoría de grafos y matricial. Lo que permite entender cómo estos sistemas de notación suelen agruparse ya que proporcionan los tres componentes fundamentales de la forma más simple de red social:

- Un conjunto de nodos y otro de arcos o aristas (algebraica)
- Un grafo generado a partir de los conjuntos anteriores (teoría de grafos)
- Una sociomatriz (matricial)

Sin embargo, el mundo no se reduce a un gran entramado de vínculos, sino que está constituido también por instituciones. Éstas no solo están fundadas sobre bases jurídicas y sociales que superan los lazos entre individuos y los trascienden, sino que están también entrelazadas con las redes sociales.

Ahora bien, una forma de evidenciar los mecanismos de construcción de esos lazos y los caminos entre individuos, colectivos e instituciones, es mediante el Análisis de Redes Sociales.

4. ANÁLISIS DE REDES SOCIALES

El Análisis de Redes Sociales es un conjunto de conceptos analíticos, métodos y aplicaciones que permite medir y analizar las características de una red social a fin de identificar las estructuras sociales resultantes de las relaciones establecidas entre sus miembros (entidades o unidades sociales). Así, el ARS se basa en la suposición de que es posible explicar los fenómenos sociales a partir de las propiedades de las estructuras relacionales, y por ende, comprender y predecir los resultados de las interacciones o intercambios entre los miembros de una red (Barabási, 2002).

Al estudiar una red social es preciso identificar sus miembros y los vínculos que se establecen entre ellos. De forma general, los elementos básicos de una red social son: entidades sociales y las relaciones establecidas entre ellas.

El estudio sistemático de las propiedades de las redes sociales se lleva a cabo mediante la teoría de grafos que permite la representación directa de los actores y las relaciones que conforman una red. Así, la teoría de grafos es una herramienta básica en el ARS por las siguientes razones (Harary & Cartwright, 1965): a) Ofrece una terminología y conceptos básicos para etiquetar y denotar las propiedades estructurales sociales; b) Posee operaciones matemáticas e ideas para cuantificar y medir las propiedades estructurales de una red; c) En base a lo anterior proporciona la capacidad para demostrar teoremas sobre grafos y por ende sobre las representaciones de la red social.

Así, es posible utilizar grafos para modelar los componentes de una red social y sus relaciones.

4.1 Tipos de redes

Las redes sociales pueden clasificarse según la cantidad de conjuntos de entidades sociales que las conforman. Así, por ejemplo, si se analizan las relaciones (amistad, rivalidad, sentimental, comunicacional, etc.) que se establecen entre los alumnos de un aula en una determinada escuela, la red conformada por estos individuos se denomina unimodal (conjunto único de entidades sociales). Mientras que, si se trabaja con una red conformada por dos conjuntos de entidades sociales, la red se denomina bimodal. Por ejemplo, los investigadores de las facultades de ingeniería del NOA (primer conjunto de entidades sociales) que participan de distintos eventos que organiza el CODINOA (segundo conjunto de

entidades sociales). De esta forma, si la red tiene n conjuntos de actores se dice que es n–modal.
El término *modo* fue introducido por Ledyard R Tucker (1966) para referirse a un conjunto distintivo de entidades sobre las que se miden variables estructurales (miden relaciones de un tipo específico entre pares de entidades). Por ejemplo, los puntajes obtenidos por un grupo de estudiantes en n evaluaciones pueden ser clasificados por los estudiantes (alfabéticamente) o clasificados de forma cruzada por los componentes de las evaluaciones. Los estudiantes a los que se administran las evaluaciones serían los elementos de un conjunto de entidades por los que se clasifican los puntajes. Así, los individuos constituirían un modo de los datos, mientras que los componentes de las evaluacionesrepresentarían el segundo modo. En este caso, los puntajes de las evaluaciones se pueden organizar en una tabla rectangular con filas para individuos (A_i) y columnas para los componentes de las evaluaciones (C_j). Tal disposición tabular suele denominarse sociomatriz de dos modos. Ahora bien, si las evaluaciones se administrasen al conjunto de estudiantes en varias ocasiones, el conjunto de ocasiones se consideraría como un tercer modo (O_k). Entonces, los datos podrían organizarse en forma de un prisma rectangular con estratos horizontales (filas) de celdas para individuos A_i, estratos verticales paralelos (columnas) para los componentes de las evaluaciones C_jy planos verticales paralelos al plano frontal para las ocasionesO_k(Figura 1). Tal disposición se denominará sociomatriz de tres modos. En general, una matriz de n modos implicaría una clasificación cruzada de los datos en n conjuntos de índices o modos (Tucker, 1966).

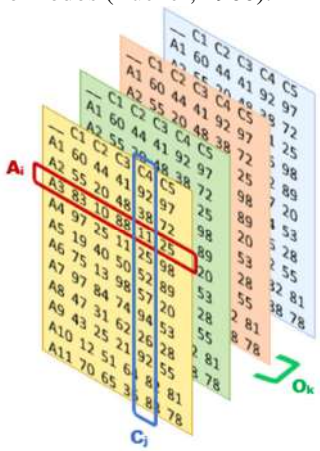


Figura 1. Sociomatriz de tres modos.

Esto significa que las variables estructurales medidas para un único conjunto de entidades dan lugar a redes unimodales mientras que un conjunto de datos reticulares formado por dos conjuntosde unidades sociales recibe el nombre de red bimodal, reflejando el hecho de que existen dos conjuntos disjuntosde entidades. De esta forma, un conjunto de datos de red bimodal contiene informaciónde los vínculos que se establecen entre las unidades de los dos conjuntos, destacándose que de existir vinculaciones entre las unidades de un mismo conjunto, éstas no son de interés para el estudio de las hiperredes.
Como se dijo, las variables estructurales miden vínculos específicos entre pares de entidades. Por ejemplo, pueden medir transacciones comerciales entre empresas, amistades entre personas o comercio entre naciones. Las unidades que componen estos pares generalmente pertenecen a un solo conjunto de entidades. Mientras que las variables de composición o variables de atributos de las unidades sociales se definen a nivel individual. Por ejemplo, se puede registrar género, etnia, ubicación geográfica de un individuo, número de empleados de una organización o departamentos de la misma, es decir son los atributos individuales de lasunidades sociales con las que se trabaja (Wasserman y Faust, 2013).
Particularmente, existe un tipo especial de redes bimodales en los estudios de redes sociales, las redes de afiliación. Este tipo de redes son bimodales, pero tienen solo un conjunto de actores ya que el segundo modo es un conjunto de acontecimientos a los que pertenecen los actores, a modo de ejemplo:asistir a un club o a eventos sociales, etc. De esta manera en los datos de las redes de afiliación los dos modos son los actores y los acontecimientos, estos últimos no se definen entre pares de actores sino sobre un subconjunto cualquiera de ellos. Un subconjunto de actores afiliados con una variable de afiliación es aquella colección de actores que participan de un determinado acontecimiento, como pertenecer a una organización, ir a un evento social, etc. Cada variable de afiliación se define para un subconjunto específico de actores (Wasserman y Faust, 2013). En otras palabras, en las redes de afiliación los actores (primer modo) están relacionados entre sí debido a su pertenencia o no a los acontecimientos o actividades (segundo

modo). Estos últimos –tomando el vocablo en un amplio sentido– suelen definirse en función de la naturaleza del estudio realizado y del tipo de actores implicados. Por ejemplo, en función de la pertenencia a clubes sociales u organizaciones de diferente naturaleza, de la asistencia a acontecimientos sociales, de la pertenencia a una comisión directiva, etc.

Los acontecimientos de una red de afiliación pueden ser un amplio rango de clases específicas de situaciones sociales, no siendo requisito imprescindible que éstas consistan en interacciones que impliquen contacto personal entre los actores ni que necesariamente éstos estén en una localización física en particular ni en un momento de tiempo dado. No obstante, lo que sí es imprescindible, es contar con un listado de todos los actores afiliados a cada uno de los acontecimientos (Wasserman y Faust, 2013).

4.2 Redes de afiliación

Las consideraciones realizadas hasta el momento para las redes de afiliación, permiten establecer algunas importantes características que distinguen a estas redes de las demás. En primer lugar, las redes de afiliación son redes bimodales con un conjunto de actores y un conjunto de acontecimientos; segundo, estas redes describen colecciones de entidades en vez de simples lazos entre pares de ellas; esto en contraposición a las redes unimodales que describen relaciones entre pares de unidades sociales.

En tercer lugar, las conexiones entre los miembros de uno de los dos modos (actores o acontecimientos) se basan en las vinculaciones establecidas por medio del otro modo, esto permite analizar las perspectivas duales de los actores y de los acontecimientos. En otras palabras, la dualidad en la relación entre actores y acontecimientos hace referencia a los dos puntos de vista alternativos, pero igualmente importantes mediante los cuales los actores están unidos unos a otros por medio de su pertenencia a los acontecimientos y a la vez, los acontecimientos están unidos entre sí por los actores que son sus miembros. Esto trae como consecuencia que las redes de afiliación se puedan observar de dos maneras: como actores unidos por acontecimientos o bien como acontecimientos unidos por actores.

Estas vinculaciones unimodales (entre actores o entre acontecimientos) se obtienen de los datos de afiliación y se pueden analizar aplicando métodos para el estudio de redes unimodales, sin embargo, también es posible analizar ambos modos de manera simultánea estudiando la relación entre los actores y los acontecimientos a los que éstos están afiliados. Estos análisis bimodales (análisis de correspondencia) estudian los actores, los acontecimientos y la relación entre ellos al mismo tiempo (Wasserman y Faust, 2013).

Las características particulares de estas redes traen como consecuencia que su análisis e interpretación sean diferentes del análisis e interpretación de las redes unimodales y en consecuencia se debe recurrir a un conjunto especial de métodos, menos desarrollados, para llevar adelante estas tareas.

4.3 Métricas de las redes de afiliación

Las redes de afiliación poseen diversas métricas que pueden calcularse a partir de la matriz de afiliación (actores y acontecimientos) o bien a partir de las matrices unimodales (actores o acontecimientos). Desde el punto de vista de la complejidad las medidas más sencillas son aquellas que consideran en forma individual a los actores o a los acontecimientos, pudiéndose calcular la tasa de participación de los actores y el tamaño de los acontecimientos.

- Tasa de participación, es el número de acontecimientos a los que se afilia cada actor. Estas cantidades vienen dadas por los totales marginales por filas (TMF) de la matriz bimodal o por las entradas de la diagonal principal de la matriz unimodal respectiva. Estas cantidades se usan con bastante frecuencia cuando se está interesado en las participaciones de los actores en eventos sociales o bien la participación de actores en determinadas actividades.
- Tamaño de los acontecimientos, es el número de actores afiliados a cada acontecimiento. Viene dado por los totales marginales por columnas (TMC) de la matriz bimodal o por las entradas de la diagonal principal de la matriz unimodal correspondiente.

Luego, se pueden analizar las propiedades de la red de actores y acontecimientos y calcular la densidad de los lazos entre actores y acontecimientos y la conexión de la red de afiliación.

A partir de la matriz bimodal se pueden derivar y analizar matrices unimodales, dependiendo del

interés que se tenga: actores o acontecimientos. El análisis unimodal se enfoca en uno solo de los modos de una red de afiliación, las propiedades a estudiar de estas redes son: densidad, accesibilidad, conexión y diámetro, subconjuntos cohesivos de actores o eventos, etc.

5. CASO DE ESTUDIO

La Facultad de Ingeniería posee un sistema de ingreso en el que el aspirante a ingresar debe asistir y aprobar el Curso de Nivelación (CN) para poder cursar las materias del primer año de la carrera elegida. El CN es intensivo, con una duración de cuatro semanas, y actualmente se imparten dos módulos: autogestión y matemáticas. Este último se evalúa en dos instancias, a las cuales se accede si se cumple con un 70% de asistencia lo cual confiere al estudiante el status de ingresante. Si el ingresante no aprueba el CN, entonces puede cursar el Trayecto de Formación Complementaria (TFC) primer cuatrimestre, o su redictado en el segundo cuatrimestre. Aprobado el TFC, el alumno está habilitado para cursar las materias que la carrera elegida le permita.

En el presente artículo, en el marco del CN de la FI, se describe una red bimodal de afiliación en la cual el primer conjunto de entidades sociales está conformado por una muestra de aspirantes a ingresar a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jujuy (UNJu) en el ciclo lectivo 2022. Mientras que el segundo conjunto, de acontecimientos, está compuesto por aquellas actitudes hacia la matemática que tiene cada uno de los integrantes del primer conjunto.

Para lograr esto último, al finalizar el CN se propuso a los aspirantes que, de forma anónima y voluntaria, completasen el cuestionario: "Actitudes hacia la matemática" (CAM). Éste fue elaborado y validado por Mariana Alejandra Farías Mata (2015) y se compone de 27 ítems que evalúan 13 actitudes positivas y 14 negativas hacia la matemática, usando una escala multivaluada (Tabla 1).

Tabla 1. Ítems del cuestionario "Actitudes hacia la matemática".

Id	Pregunta	Actitud
P01	Cuando no entiendo matemática, me rindo	negativa
P02	Lo que aprendo en matemática es significativo para mí	positiva
P03	Temo equivocarme al resolver un problema matemático	negativa
P04	En las clases de matemática me siento confundido	negativa
P05	A pesar de que estudio obtengo notas bajas en matemática	negativa
P06	Estudiar matemática me motiva	positiva
P07	Me gusta la matemática	positiva
P08	Estudio matemática únicamente para aprobar la materia	negativa
P09	En las clases de matemática siento que el conocimiento que tengo no es suficiente	negativa
P10	Considero la matemática como un juego que desafia	positiva
P11	Me interesan las clases de matemática	positiva
P12	Siento que la matemática es útil cuando la aplico en mi vida diaria	positiva
P13	Para mí, la matemática es interesante	positiva
P14	Al resolver tareas de matemática me equivoco debido a mi inseguridad	negativa
P15	Estudio matemática por obligación	negativa
P16	Confío en mis capacidades cuando resuelvo tareas de matemática	positiva
P17	Siento que fracaso al equivocarme cuando resuelvo tareas de matemática	negativa
P18	Me siento seguro en las clases de matemática	positiva
P19	Me agradan las clases de matemática	positiva
P20	Me aburro en clase de matemática	negativa
P21	Controlo el temor que siento al resolver un problema matemático	positiva
P22	Me agrada plantearme varios caminos para resolver problemas matemáticos	positiva

Id	Pregunta	Actitud
P23	Me siento inseguro en las clases de matemática	negativa
P24	Disfruto los desafíos que me presenta resolver tareas de matemática	positiva
P25	Me entristece salir reprobado en matemática	negativa
P26	Temo equivocarme cuando paso al pizarrón a resolver un problema matemático	negativa
P27	Me siento frustrado en las clases de matemática	negativa

El cuestionario se implementó en el aula virtual del Sistema de Ingreso de la FI en el entorno virtual de aprendizaje de la UNJu (UNJu Virtual) y estuvo disponible por 15 días tras finalizar el curso. De los 1470 aspirantes matriculados en el aula virtual, 658 participaron del cuestionario.
Los datos recopilados en este estudio corresponden a las manifestaciones de las actitudes hacia las matemáticas de los encuestados. La tabulación y formateo de datos se llevó a cabo mediante scripts y planillas de cálculo, mientras que el procesamiento y análisis se realizó mediante el software UCINET (Borgatti *et al.*, 2002).

6. RESULTADOS

Los datos recopilados a través del cuestionario permitieron comparar, individualmente,tanto las percepciones positivas como negativas de los aspirantes hacia la Matemática. En la Figura 2 se muestra el grado de acuerdo de los estudiantes respecto a las actitudes positivas.

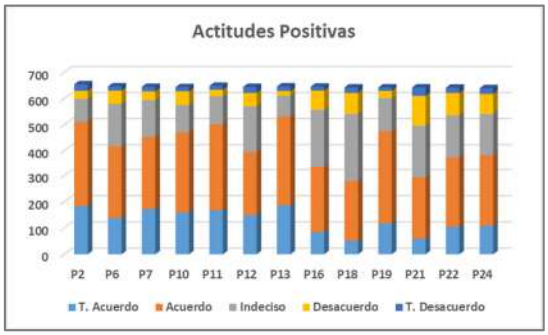


Figura 2. Comparación de respuestas hacia actitudes positivas.

Como puede observarse en la mayoría de los casos se presentan respuestas favorables (totalmente de acuerdo y de acuerdo) a las actitudes positivas.
En la Figura 3 se presenta el grado de acuerdo de los estudiantes respecto a las actitudes negativas hacia la Matemática. En este caso, predominan las respuestas de desacuerdo o indiferencia hacia las actitudes negativas.

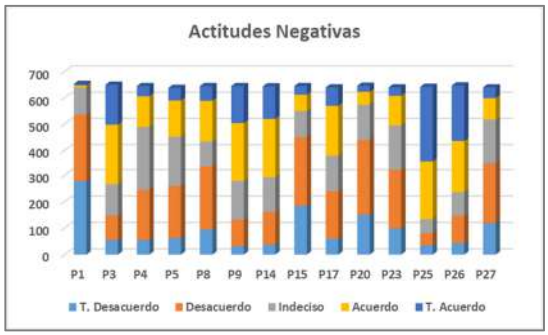


Figura 3. Comparación de respuestas hacia actitudes negativas.

Para realizar el análisis bimodal se generó la sociomatriz aspirantes-actitudes (Tabla 2) en la que se registróel acuerdo de los estudiantes con actitudes positivas/negativas hacia la Matemática.

Tabla 2. Sociomatriz bimodal aspirantes-actitudes.

	A01	A02	A03	…	A26	A27	TMF
E01	0	1	0		0	0	15
E02	0	1	0		1	1	11
E03	0	1	0		1	0	8
…							
E652	0	1	1		1	0	16
E653	0	1	0		0	0	12
E654	0	1	1		1	0	16
E655	0	1	1		1	0	17
E656	0	1	0		0	0	15
E657	0	1	1		1	0	13
E658	0	1	0		0	0	13
TMC	14	512	382	…	412	123	

En base a los TMF de la sociomatriz aspirantes–actitudesfue posible cuantificar la actitud general de cada encuestado hacia la matemática. A partir de esto se clasificó cada tipo de actitud hacia la matemática (positiva y negativa)entrescategorías:

baja, moderada y alta;más el caso especial "indiferente". En la Figura 4se muestra la distribución de frecuencia de las actitudes del grupo de estudiantes; donde puede observarse que las categorías "positiva alta" y "positiva moderada" son las predominantes. Además, es notable que las categorías de actitudes negativas e indiferente presentan valores bajos para el grupo de encuestados.

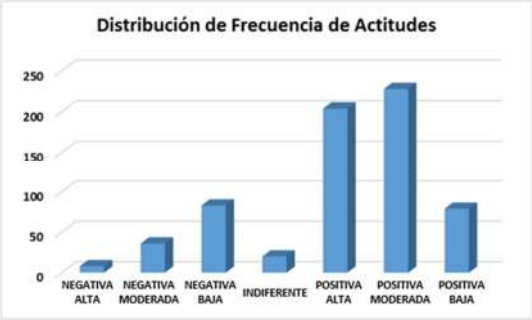


Figura 4. Distribución de frecuencia de actitudes.

A partir de los TMC de la sociomatriz aspirantes–actitudes fue posible cuantificar la concordancia de los encuestados (eje horizontal) con cada una de las actitudes medidas (eje vertical). En la Figura 5 se presentan los resultados obtenidos para las actitudes positivas. En el gráfico de barras se puede identificar rápidamente cuáles fueron las actitudes positivas (ítems del cuestionario) mejor valoradas por el grupo de estudiantes. No obstante, también es observable que ninguna de las actitudes positivas presenta valores marcadamente bajos.

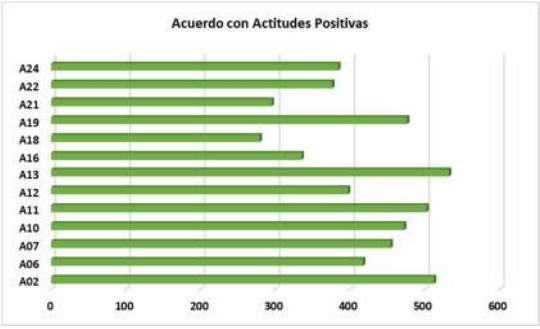


Figura 5. Acuerdo con actitudes positivas.

De forma análoga al caso anterior, los resultados obtenidos para las actitudes negativas se muestran en la Figura 6. Aquí, es posible apreciar cuáles fueron las actitudes negativas más elegidas por los estudiantes, así como las menos elegidas que presentan valores significativamente bajos.

A continuación, a modo ilustrativo, se presenta un fragmento de la red bimodal aspirantes–actitudes (Figura 7), donde se muestran 100 de los 658 aspirantes. En el grafo, los nodos circulares celestes identifican a los estudiantes, mientras que los cuadradosverdes y rojos representan a las actitudes positivas y negativas, respectivamente.Las aristas vinculana los estudiantes con las actitudes que éstos eligieron.

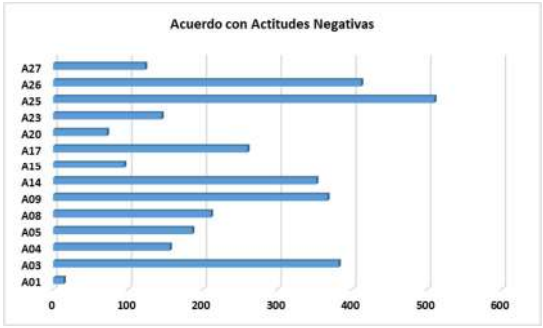


Figura 6. Acuerdo con actitudes negativas.

Nótese que el tamaño de los nodos que representan actitudes es proporcional al número de aspirantes que estuvieron de acuerdo con éstas.

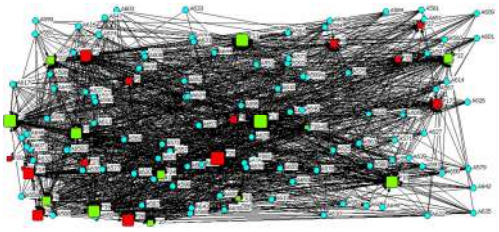


Figura 7. Red bimodal Alumnos-Actitudes.

7. CONCLUSIONES

A partir de la sociomatriz bimodal (Tabla 2) y los TMF se puede observar que en el grupo predominan las actitudes positivas (Figura 2 y Figura 4);esto permite inferir que el aspirante al enfrentarse a distintas dificultades en el proceso de enseñanza aprendizaje de la Matemática, se predisponga a explorar nuevas vías de trabajo, muestre curiosidad, motivación, confianza e interés, es decir, tenga un enfoque positivo al encarar nuevas estrategias de aprendizaje. Respecto a las actitudes negativas, las categorías alta y moderada presentan valores poco significativos, destacándose solamente la categoría negativa baja. Estos resultados pueden considerarse como una situación favorable para el grupo encuestado.

Respecto a los TMC de la sociomatriz bimodal, se puede observar (Figura 5) que entre las actitudes positivas más elegidas en el grupo de aspirantes se destacan, $A^{+}2$: *lo que aprendo en matemática es significativo para mí*, $A^{+}11$: *me interesan las clases de matemática* y $A^{+}13$: *para mí, la matemática es interesante*.

De forma análoga, las actitudes negativas que más se destacaron son (Figura 6), $A^{-}3$: *temo equivocarme al resolver un problema matemático*, $A^{-}25$: *me entristece salir reprobado en matemática* y $A^{-}26$: *temo equivocarme cuando paso al pizarrón a resolver un problema matemático*.

En primer lugar, estos resultados se condicen con el grafo de la red (Figura 5), donde se puede observar que los nodos que representan a las actitudes positivas y negativasdestacadas previamente, se distinguen por su mayor tamaño. En segundo lugar, estos resultados son esperables para un grupo de aspirantes que voluntariamente eligen estudiar una carrera científico–tecnológica con una fuerte vinculación a las ciencias exactas.

También es destacable la actitud positiva menos elegida $A^{+}18$: *me siento seguro en las clases de matemática*. Esto puede interpretarse, por negación, como una falta de seguridad a la hora de encarar algún tipo de actividad referida a la matemática. En el extremo opuesto del espectro, la actitud negativa menos elegida fue $A^{-}1$: *cuando no entiendo matemática, me rindo*. Esto denota que a pesar de las dificultades los aspirantes tienen una buena predisposición para superar las dificultades que se presentan a la hora de aprender la disciplina en cuestión.

Finalmente, para valorar el impacto de las actitudes hacia la matemática sobre el rendimiento académico del grupo estudiado es necesario analizar el desempeño de los alumnos tanto en asignaturas de contenido matemático como de otras disciplinas. Así, seríaposible formular planes de acción que articulasen contenidos, actividades y recursos desde el curso de nivelación hasta las asignaturas de primer año. Este es un compromiso que a nivel institucional debe lograrse para fortalecer la estructura que da soporte al ingreso universitario.

8. REFERENCIAS

Ajzen, I., & Fishbein, M. (2005). *The influence of Attitudes on Behavior*. In Albarracin, D. Johnson, B. & Zanna M. (Eds.). The Handbook of Attitudes. New Jersey: Erlbaum.

Barabási, A. L., *The new science of networks*. Cambridge: Perseus, New York, USA, 2002.

Borgatti, S.P., Everett, M.G. and Freeman, L.C. (2002). *Ucinet 6 for Windows: Software for Social Network Analysis*. Harvard, MA: Analytic Technologies.

Eagly, A., & Chaiken, S. (2005). *Attitude Research in the 21st Century: The current state of knowledge*. In Albarracin, D., Johnson, B. & Zanna, M. (Eds.). The Handbook of Attitudes. New Jersey: Erlbaum.

Farías, M. (2011). *Actitudesy Autorregulación enelaprendizajedelamatemática.Nuevosabordajesenla enseñanza-aprendizajedela matemáticaenestudiantesuniversitarios*.Editorial Académica Española: Alemania

Harary F., Norman R. Z. y Cartwright D. (1965). *Structural Models: An introduction to theory of Directed Graphs*. New York: John Wiley and Sons.

Mata, M. A. F. (2015). *Revalidación psicométrica del cuestionario de actitudes hacia la matemática en estudiantes universitarios*. Revista Evaluar, 15(1).

Simmel, G. (1939). *Sociología: estudios sobre las formas de socialización* (Vol. 1). Espasa-Calpe Argentina, SA.

Tucker, L. R. (1966). Some mathematical notes on three-mode factor analysis. Psychometrika, 31 3 279–311

Wasserman, S. y Faust, K. (2013), *Análisis de redes sociales. Métodos y aplicaciones*. Carolina Berenguer Romeu, Ovidi Carbonel Cortés y Maria Teresa Casado Rodríguez (Trad.), Centro de Investigaciones Sociológicas, Madrid, España.

Diseño de dispositivo virtual de autoevaluación como herramienta de apoyo para rendir examen final

Umlandt, Maximiliano; Rodríguez, Silvia[2]; Marchese, Elisa[3]

(1) Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero.

maximiliano.umlandt@gmail.com

(2) Facultad de Humanidades, Ciencias Sociales y de la Salud, Universidad Nacional de Santiago del Estero.

sbrodriguez2001@yahoo.com

(3) Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, Universidad Nacional de La Plata.

elisamarchese33@gmail.com

RESUMEN

En la cátedra de Fundamentos de Tecnología de la Madera una parte de los estudiantes que se presentan al examen final por primera vezlo hacen hasta dos años después de haber cursado la materia, y durante el desarrollo del examen se aprecia un desconocimiento de los objetivos de la evaluación, los criterios de la evaluación y las prioridades de los saberes más relevantes de la asignatura. Esta situación constituye un problema en tanto no solo se percibe una postergación constante del momento de la evaluación, sino que además quienes llegan a dicha instancia, desconocen la modalidad, los objetivos, los criterios de la evaluación y los saberes claves de la asignatura.

El presente trabajo tiene como objetivo elaborar una propuesta de innovación respecto de las prácticas evaluativas de la asignatura, llevando a cabo la construcción de un espacio complementario en el aula virtual, el cual contenga herramientas de autoevaluación y retroalimentación para que los estudiantes puedan utilizar a modo de apoyo y preparación para la instancia del examen final de la materia.

ABSTRACT

In the Wood Technology Fundamentals subject, a part of the students who take the final exam for the first time do so up to two years after having completed the subject, and during the course of the exam there is a lack of knowledge of the objectives of the course. the evaluation, the evaluation criteria and the priorities of the most relevant knowledge of the subject. This situation constitutes a problem insofar as not only is a constant postponement of the moment of evaluation perceived, but also those who come to said instance are unaware of the modality, the objectives, the evaluation criteria and the key knowledge of the subject.

The objective of this work is to elaborate an innovation proposal regarding the evaluative practices of the subject, carrying out the construction of a complementary space in the virtual classroom, which contains self-evaluation and feedback tools so that students can use it as support and preparation for the final exam of the subject.

Palabras claves: prácticas evaluativas – dispositivos – instrumentos – entornos virtuales

Keywords: evaluative practices – devices – instruments – virtual environments

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo surge a partir de la necesidad dela cátedra de Fundamentos de Tecnología de la Madera, de la carrera de Ingeniería Forestal, de la Facultad de Ciencias Forestales, de la Universidad Nacional de Santiago del Estero, elaborar una estrategia que permita acercar a los estudiantes herramientas que les posibiliten enfrentar los procesos de evaluación necesarios para la apropiación de los saberes de la asignatura, donde se observa como nudo problemático, la prolongación excesiva de las instancias de evaluación final, junto con una falta de comprensión de los criterios de evaluación.

Este problema nos lleva a pensar en la evaluación, pero desde el horizonte de nuestras propias practicas docentes (Araujo, 2016 y Camilloni *et al*., 1998). El examen final de la asignatura tiene como objetivo evaluar la apropiación de los saberes de los estudiantes. Surge como planteo si se logra transmitir eficientemente a los estudiantes que el examen final es una instancia más de aprendizaje, y su potencial como herramienta para permitir ver si se logró, o no, aquello que se había previsto.

Otorgarle a la evaluación el reconocimiento de ser, además, una instancia de aprendizaje requeriría a quienes ejercen las prácticas de enseñanza, según Jutta Hetzer et *al*. (2020, p. 13) a *«estar dispuesto, a analizar, repensar, deconstruir nuestras prácticas evaluativas, reconocer fortalezas y debilidades para la mejora y construir prácticas pedagógicas que incluyen una evaluación de calidad»*.

Para la Real Academia Española evaluar es *«Determinar el valor [de algo]' y 'examinar y calificar las aptitudes o conocimientos [de alguien]»* (RAE, 2005). En relación al ámbito educativo, Álvarez Méndez (2001) plantea que la evaluación es una actividad a partir de la cual se adquiere conocimiento. El docente aprende sobre su práctica y las posibilidades de mejorarla, aprende sobre las dificultades de aprendizaje de los estudiantes, el modo de poder resolverlas y las estrategias que deberán ser puestas en funcionamiento para ello.

En referencia la importancia del rol que juega la evaluación en la formación de los estudiantes, Jutta Hetzer *et al.* (2020) citando a Anijovich y Cappelletti (2017) explican que:

«los estudiantes puedan tomar conciencia ´de lo que saben y cuánto saben` visibilizando sus construcciones cognitivas y las habilidades para recrear sus conocimientos en diferentes situaciones, reconocer cuestiones que necesitan revisar para modificar, completar, profundizar y ´poner en uso` lo que aprenden en diferentes contextos […]» (Anijovich y Cappelletti, 2017, ciados por Jutta Hetzer et *al*., 2020, p. 13).

Mas allá de que todos los contenidos de la asignatura *Fundamentos de Tecnología de la Madera* se enseñan en modalidad presencial, la asignatura dispone de un aula virtual, a modo de complemento del aula presencial. Al respecto, Jutta Hetzer et al. (2020) mencionan que en la actualidad, las prácticas de enseñanzas, de aprendizaje y de evaluación, se llevan a cabo tanto en entornos con presencialidad y/o en entornos virtuales, ya sea de manera independiente o complementaria. A diferencia de lo indicado por los autores, en nuestro caso, no se lleva a cabo las prácticas evaluativas de manera virtual.

La evaluación y el modo como se aprende tienen correspondencia mutua (Tebar, 2010)esto sería, para nuestro caso, si se enseña de manera presencial y con virtualidad (aula ampliada o aula extendida) entonces ¿Por qué no evaluar o proponer evaluaciones también virtuales? ¿Por qué no hacerlo en una instancia donde al estudiante le permita obtener un tipo de información tan valiosa respecto de su apropiación de determinados saberes, que le permita saber puntualmente a qué/cuáles saberes dedicar tiempo para presentarse en menores plazos de tiempos al examen final.

Sobre la componente virtual y refiriéndose a la evaluación, Jutta Hetzer et al. (2020) explican que:

«*La evaluación virtual supone la coherencia entre los objetivos de aprendizaje y los objetivos de evaluación, además de la utilización de una retroalimentación (feedback) constructiva que permite a los estudiantes reconocer aciertos y dificultades en su proceso y actuar en consecuencia, implementando estrategias de*

estudio y aprendizaje además de brindar información sobre el modo en que progresan los estudiantes» (Jutta Hetzer et *al*., 2020, p. 21).

En pos de mejorar las formas y métodos de evaluación, se propone como innovación crear un dispositivo virtual de autoevaluación (integrado a los procesos de enseñanza y de aprendizaje), que esté basado en las dificultades observadas en los estudiantes durante el examen final de la asignatura y en la situación descripta como problemática; que permita al estudiante evaluarse a sí mismo para que determine por si mismo el grado de apropiación de los saberes que son objeto de la enseñanza, propiciando de esta manera una instancia de aprendizaje para el estudiante y de análisis respecto de su situación actual de cara a un posible examen final.

2. CARACTERIZACIÓN DEL TEMA, CONTEXTUALIZACIÓN Y JUSTIFICACIÓN

La asignatura *Fundamentos de Tecnología de la Madera* está ubicada en el quinto módulo (primer cuatrimestre del tercer año) del plan de estudio de la carrera de Ingeniería Forestal de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Santiago del Estero.

Los objetivos generales de la asignatura son *"conocer las propiedades físicas, mecánicas y la composición química de la madera en relación con sus posibles aplicaciones; como así también la de relacionar la estructura anatómica de la madera con sus propiedades tecnológicas(o sea su industrialización y posibles productos)*".

Para el cumplimiento de los propósitos de la asignatura, se pretende transmitir al estudiante un conjunto de saberes respecto del comportamiento del material madera en relación con la naturaleza del mismo y sus posibles aplicaciones. Para poder entender estas relaciones es necesario que los estudiantes logren integrar y vincular los conocimientos adquiridos o construidos previamente, en asignaturas anteriores, con los contenidos que se presentan en esta cátedra.

La propuesta metodológica y pedagógica, por medio de la cual se espera alcanzar los objetivos en la planificación de la asignatura, contempla el desarrollo de clases de carácter teórico, clases prácticas con resolución de situaciones problemáticas, actividades de laboratorio, un viaje de estudio, y el complemento con un aula virtual, en la cual se pone a disposición de manera permanente los contenidos de la asignatura, lecturas y videos sugeridos. Además, disponen de las clases de consultas, las cuales están orientadas puras y exclusivamente a atender, mediante la demanda de los estudiantes, la revisión y/o nuevo abordaje de aquellos contenidos que se consideren necesarios.

La modalidad de evaluación de la cursada de la asignatura consiste en parciales escritos y de carácter teóricos/prácticos con una calificación mínima de aprobación de seis (6) puntos de un máximo de diez (10) puntos. Para regularizar la asignatura se deben aprobar tres parciales y/o sus respectivos recuperatorios según corresponda. La asignatura no es promocionable. La aprobación final de la asignatura se lleva a cabo en la instancia de examen final, ante un tribunal evaluador conformado por tres de los cuatro docentes de la cátedra. La nota mínima con la que se aprueba el examen final es cuatro (4) puntos de un máximo de diez (10) puntos.

La dinámica de esta instancia (o modalidad) consiste en una evaluación oral donde los estudiantes presentan/exponen un tema elegido por ellos mismos, y luego el tribunal realiza preguntas o discute con los estudiantes situaciones problemáticas hasta haber tratado de esa manera la mayoría de los contenidos de la asignatura. El criterio de evaluación es "*El alumno deberá demostrar conocimiento de las propiedades importantes de la madera que afectan su uso posterior y su efecto sobre la rentabilidad*" (Pan, 2020).

Sin embargo, desde la cátedra se observa que los estudiantes que se inscriben y presentan al examen final de la asignatura, generalmente luego de transcurridos largos periodos de tiempo desde el momento que regularizaron la materia, y durante el examen se observa una dificultad para resolver las situaciones problemáticas planteadas al momento de la evaluación final.

La innovación permitirá a los estudiantes que tienen la asignatura en condición de regular, que al momento que ellos mismos consideren estudiar/prepararse para la evaluación examinadora final, tener de manera permanente en el aula virtual un dispositivo de autoevaluación. Al respecto, Sotelo *et al*. (2018,

p. 3) señalan que «*[…] generar autonomía en el sujeto (estudiante) y visibilizar sus debilidades y fortalezas para seguir enriqueciendo su recorrido de aprendizaje*».

Rueda Beltrán (2020) en su conferencia sobre Evaluación de los Aprendizajes, indica que la idea de evaluar en términos de aplicar un examen puede ser dañina, debido a que el resultado es "aprobados" y "desaprobados", que es básicamente lo que ocurre en los exámenes finales de las asignaturas. La propuesta de un dispositivo de autoevaluación en instancias previas al examen final, justamente permitiría evitar el esquema de resultado "*aprobados*" y "*desaprobados*", si no, más bien, proveer al estudiante de información respecto su estado de apropiación de los saberes. El mismo autor expresa que la evaluación surge como una manera de ver si logramos o no lo que se había previsto, y en este sentido, la actual propuesta de innovación puede ser una instancia en la que tanto estudiantes como los docentes observen si los objetivos de la asignatura fueron alcanzados, en consecuencia, planificar, o no, las acciones que correspondan para presentarse y rendir el examen final de la asignatura.

Por lo tanto, Cabrales Zalazar (2008, p. 146) sostiene que «*Evaluar es un proceso que facilita la toma de decisiones para proveer información al respecto de cómo están aprendiendo los estudiantes, cómo se está enseñando y cómo se puede mejorar*», por medio de la autoevaluación se permitiría a los estudiantes "*evaluar*" sus saberes y ellos mismos decidir como " *mejorar*".

El examen final de las asignaturas pareciera ser el momento aquel donde los estudiantes deben "demostrar" que "saben", de manera muy básica y escasa de flexibilidad que les permita a los estudiantes disponer de mayores recursos para demostrar sus conocimientos, cómo lo indica Araujo (2016) citada por Araujo (2021, p. 1), «*[…]por un lado se promueven y desarrollan aprendizajes complejos pero a la hora de evaluar y acreditar se recurre a instrumentos sencillos o que poco tienen que ver con la búsqueda de evidencia acerca de esos aprendizajes*».

Un dispositivo de autoevaluación dispuesto de manera permanente en el aula virtual, puede proponerse con un diseño tal que atienda la evaluación de los aprendizajes complejos mencionados anteriormente, y que, a su vez, esta autoevaluación se elabore o se ajuste al criterio de evaluación del examen final de la asignatura (se propone una autoevaluación, la cual puede considerarse como una instancia de simulación del examen final de la asignatura).

En el examen final de la asignatura se genera el ámbito o espacio para que ocurra lo explicado por Álvarez Méndez (2001) cuando dice que la evaluación es una oportunidad para aquellos que aprenden puedan aplicar sus conocimientos y discutir sus ideas, posturas etc. No obstante, el foco en este trabajo está puesto en una instancia previa que permita dar solución a la situación problemática identificada "*el transcurso de largos periodos de tiempo entre la obtención de la regularidad por parte de los estudiantes y su presentación al examen final*".

La autoevaluación recoge información que permita tanto al estudiante como a los docentes "comprobar aprendizajes", "desarrollar actitud crítica" y "resolver situaciones problemáticas", lo cual está contemplado en el criterio de evaluación del examen final de la asignatura "*El alumno deberá demostrar conocimiento de las propiedades importantes de la madera que afectan su uso posterior y su efecto sobre la rentabilidad*" (Pan, 2020).

La innovación, plantea un dispositivo de autoevaluación de los aprendizajes para la preparación del examen final, y contempla lo indicado por Araujo (2021, p. 3) cuando hace referencia a la enseñanza–aprendizaje–evaluación como parte de un mismo proyecto formativo «*[…] ¿qué actividades se propondrán para cotejar que se van a aprendiendo los diferentes tipos de contenidos?, ¿cuál será el mejor instrumento para constatar los aprendizajes logrados?*».

Identificar una situación problemática (en este trabajo las prácticas evaluativas) y partir de un análisis y actuar en consecuencia, es una intervención. Para Remedi (2004) intervenir es estar entre un antes y un después, es estar entre dos lugares, la intervención es estar en medio de algo. Este autor también señala que intervenir es interponerse al desarrollo que una acción viene interponiendo. Del mismo modo, explica que los procesos de intervención siempre van a trabajar sobre dos tendencias, sobre un proceso que está instituido y un proceso que es instituyente. Entre lo instituido y lo instituyente se encuentra el

proceso de intervención. Lo instituido responde a la lógica que la propia institución o que las propias prácticas tienen, lógicas que están asentadas en una historia de la institución, que están asentadas y que están construidas en significados de la institución y que otorgan identidad a la institución; lo instituyente hace referencia a procesos que se están gestando, procesos que van a devenir a futuro en nuevas prácticas y en esta tensión entre lo instituido y lo instituyente se colocan centralmente las prácticas de intervención.

En referencia a la propuesta de innovación, y rescatando nuevamente a Remedi (2004) plantea interponerse al desarrollo que una acción viene interponiendo, la cual sería el lapso de tiempo después del cual los estudiantes se presentan al examen. Es instituido que los estudiantes disponen efectivamente de dos (2) años para presentarse a rendir el examen final luego de haber conseguido la regularidad de la asignatura. Lo instituyente es que la asignatura dispone de un espacio complementario virtual, el cual forma parte del proceso de enseñanza y de aprendizaje, y el cual puede aprovecharse para las innovar prácticas evaluativas, que permitan dinamizar el esquema de cursado de y regularización de la asignatura promoviendo una aprobación por medio del examen final en tiempos menores a los actuales.

Las asignaturas en muchos casos contemplan entornos virtuales como complemento de ampliación del aula física. En estos entornos virtuales también se llevan a cabo procesos de enseñanza-aprendizaje-evaluación, y al respecto, Jutta Hetzer *et al*. (2020) indican que la evaluación de los aprendizajes en los entornos virtuales requiere prácticas educativas centradas en la construcción del aprendizaje. Por su parte, Camilloni (1998) señala que los procesos de enseñanza y de aprendizaje están atravesados por el proceso de evaluación, y que analizar y modificar la evaluación implica la modificación de los procesos de intervención de los docentes, y para el caso de la enseñanza y aprendizajes en entornos virtuales, también la modificación de las estrategias aplicadas.

En relación a las evaluaciones y los entornos virtuales, Bautista (2011) citado por Jutta Hetzer *et al*. (2020, p. 28) señala que «*la evaluación de aprendizajes no debe ser una mera reutilización de instrumentos de evaluación de la modalidad presencial sino la búsqueda de formas nuevas de evaluar, acordes tanto al entorno virtual como las competencias y capacidades a evaluar*».

Tanto sea que las propuestas de evaluación de los aprendizajes se lleven a cabo en las aulas como en entornos virtuales, deberán suponer coherencia entre los objetivos de aprendizaje y los objetivos de evaluación, y contemplar instancia de retroalimentación constructiva (Ameriso *et al*., 2014).

Dado que el examen final de la asignatura tiene como objetivo evaluar la apropiación de los saberes por parte del estudiante, y que éste logre relacionarlos de manera tal que le permita resolver situaciones problemáticas, de acuerdo a los cuestionamientos planteados por los autores, se considera que en la propuesta de innovación efectivamente se podrán evaluar aquellos principales contenidos y saberes que son objeto de la enseñanza, de manera virtual, asincrónica y por medio de dispositivos que si permitan cumplir en esta instancia de autoevaluación los mismo objetivos que en el examen final. Se trataría de un dispositivo virtual de autoevaluación del tipo múltiple choice, el cual difiere del formato utilizado en la presencialidad, pero que será una adecuación a la virtualidad de lo que se realiza en la evaluación presencial (examen final).

Finalmente, permitirle al estudiante participar del proceso de evaluación de los aprendizajes (por medio de la autoevaluación), haciendo públicas tales prácticas, tendrá repercusión positiva en los resultados, pues «*Hacer partícipe al evaluado de este proceso también cumple fines prácticos, ya que facilita la orientación en el cursado, fomenta procesos de autorregulación y autogestión de los propios procesos de aprendizaje*» (Jutta Hetzer et al., 2020:4).

A pesar de que la instancia en la que interviene la propuesta de innovación es al finalizar el cursado de la asignatura, lo hace en instancia previa al examen final. Y en este sentido, un dispositivo de autoevaluación en el aula virtual permitirá darles participación a los estudiantes respecto de la evaluación de sus aprendizajes, y la posibilidad de que ellos mismos regulen y gestionen sus procesos de aprendizaje conforme la información obtenida de la autoevaluación, de cara a poder presentarse al examen final.

3. OBJETIVO DE LA PROPUESTA

Proponer un módulo optativo dentro del aula virtual de la asignatura Fundamento de Tecnología de la Madera, de la carrera de Ingeniería Forestal de la Facultad de Ciencias Forestales, de la Universidad Nacional de Santiago del Estero, que comprenda el diseño de un dispositivo para los estudiantes de autoevaluación del aprendizaje y que les brinde información útil respecto de su estado de apropiación de saberes, colaborando en su preparación para el examen final de la asignatura.

4. MARCO CONCEPTUAL

En la figura 1 se presenta un esquema de funciones y componentes de la evaluación de los aprendizajes según McMillan (2001) citado por Guzmán (2010).

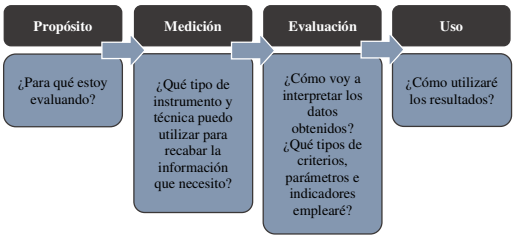


Figura 1. Funciones y componentes de evaluación de los aprendizajes.Fuente: McMillan (2001) citado por Guzmán (2010, p. 4).

Desde la cátedra podemos se piensan las funciones y los componentes de la evaluación de los aprendizajes de manera semejante a como lo señala la figura 1, cuando se trata del examen final, donde si bien hay retroalimentación y aprendizaje también puede tener consecuencias negativas en un escenario en el cual el estudiante no apruebe (disminución de promedios, caída del rendimiento académico, orden de mérito, etc.), puede cuestionarse si la evaluación de los aprendizajes no podría también estar presentes en otras instancias (además de los parciales y examen final), en la cual le otorgue al estudiante información (resultados) respecto de su estado actual de apropiación de los aprendizajes, sin que eso, en el peor de los casos (desaprobar), afecte negativamente su trayectoria en la asignatura o en su carrera. Este instrumento, como ya se lo propuso, podría ser la autoevaluación (voluntaria) en instancias previas al examen final.

4.1. La evaluación de los aprendizajes

Desde la asignatura de *Fundamentos de Tecnología de la Madera*a la enseñanza se la entiende como un proceso que busca promover la estimulación del pensamiento crítico de los estudiantes que la cursan. Por lo tanto, un entendimiento de la evaluación de los aprendizajes por parte de quienes proponen y diseñan tales evaluaciones se vuelve fundamental para cuestionar e intervenir las prácticas docentes en la asignatura.

Roig (2013) expresa que la evaluación dentro de una concepción tradicional es una comparación, ya que siempre se compara con un ideal en pos de establecer un juicio de valor para determinar que tan cerca está de aquello que consideramos como modelo de "*bueno*" o "*mejor*" (el ideal).

La evaluación como herramienta y estrategia en la formación y aprendizaje es importante repensarla, y no encasillarla en conceptos básicos. En ese sentido, Araujo (2016) propone cuestionarse ¿Qué se enseña? ¿Para qué se enseña? ¿Cómo saber si lo aprendido se corresponde con las intenciones de la enseñanza? A lo anterior, y teniendo presente la problemática abordada, se le sumaría: ¿El estudiante sabe qué es lo que aprendió? y si lo sabe ¿Le permite optimizar sus recursos y dedicación de cara a una evaluación final?

HEA (2012) citado por Brown (2015, p. 3) indica que «*el diseño de la evaluación influye mucho en la determinación de la calidad y cantidad de aprendizaje logrado por los estudiantes, de modo que si queremos mejorar el aprendizaje de los estudiantes, debemos empezar por mejorar la evaluación*». Conforme a lo anterior, se propone el diseño de un dispositivo de autoevaluación, entendiendo que el desafío será su diseño pues de él dependerá la calidad y cantidad de aprendizaje que podrá hacer el propio estudiante sobre si mismo.

La evaluación de los aprendizajes conlleva valorar el aprendizaje, al respecto, Jutta Hetzer *et al*. (2020, p. 2) indican que «*Valorar en este sentido se refiere a emitir un juicio crítico respecto a los aprendizajes que se expresan a través de una calificación cualitativa o cuantitativa. Lo crucial en esta tarea es analizar cómo llegar a ese juicio, cómo se construye y se*

expresa aquello que resulta el producto del desempeño de los estudiantes».

Para Santos Guerra (2017) la evaluación tiene varios componentes, uno es el de comprobación, al cual lo considera el más difícil, y hace referencia qué este componente consiste en saber si lo que tenía que aprender el estudiante fue aprendido. El mismo autor expresa que la utilización de la evaluación como un instrumento de diagnóstico de aprendizaje y de comprensión encaminada a la mejora tiene una menor presencia que la evaluación como mecanismo de control de selección de comparación y de medición.

Según Roig (2013) en el campo teórico y práctico encontramos dos enfoques sobre cómo entender la evaluación: las evaluaciones preordenadas y las evaluaciones deliberativas. Las evaluaciones preordenadas se basan en un sistema de indicadores y estándares y parten de la idea de que conocemos de antemano cómo deben ser las cosas es por ello que los criterios de evaluación se construyen antes de observar los fenómenos. En el segundo enfoque, evaluaciones deliberativas, predomina la búsqueda de compresión sobre cómo están siendo las cosas. Se propone para ello formas de autoevaluación que permitan elaborar consensos sobre qué orientación se ha de seguir.

Un enfoque de la evaluación, analizado por diversos autores, es el de la evaluación auténtica. Al respecto, Araujo (2021) expresa que:

«*La evaluación auténtica, entre otras características principales, requiere el establecimiento de criterios y estándares de valoración claros, transparentes, apropiados y conocidos por los estudiantes. Esta explicitación es fundamental para el desarrollo de la evaluación por parte de los docentes así como para el desarrollo de la autoevaluación y la coevaluación o evaluación de pares de avances, retrocesos, logros y dificultades*» (Araujo, 2021, p. 1).

Así también, la evaluación auténtica para Wiggins (1990) citado por Brown (2015) es:

«*La evaluación auténtica tiene lugar cuando examinamos directamente el desempeño de los estudiantes en tareas intelectuales relevantes, cuando los estudiantes están obligados a ser intérpretes eficaces de los conocimientos adquiridos y podemos hacer inferencias válidas sobre el desempeño del estudiante a partir de las tareas que se utilizan para la evaluación*» (Wiggins, 1990, citado por Brown, 2015, p. 4).

Con base en las referencias y citas de los últimos párrafos, el dispositivo de evaluación (autoevaluación para nuestro caso) mostrará al estudiante si lo que tenía que aprender fue aprendido (Santos Guerra, 2017), con un enfoque del tipo evaluaciones deliberativas, en el que predomine la compresión sobre cómo está resultando su proceso de aprendizaje. Y que desde la autoevaluación el estudiante pueda discernir cómo se ha de seguir (Roig, 2013), teniendo esa práctica evaluativa criterios transparentes y conocidos por los estudiantes, como se espera para la evaluación auténtica (Araujo, 2021).

La evaluación debe diseñarse en términos didácticos, adecuadamente y coherentemente, ya sea que se trate de un entorno virtual (sincrónico o asincrónico) o del presencial. Jutta Hetzer *et al*. (2020) mencionan una serie de aspectos que consideran deben estar presentes para lograr una evaluación certificativa de calidad, tales como la de indicar clara y públicamente el objeto de evaluación; la de expresar los criterios e indicadores de evaluación; utilizar instrumentos de evaluación que sean válidos y fiables; utilizar los resultados de la evaluación en un sentido formativo y promover la facilidad en la aplicación, corrección y transparencia del proceso evaluativo.

De acuerdo a para qué evaluamos, Fernández Marcha (2014) describe las que para ella son las cinco funciones más importantes de la evaluación, como la función de comprobar haber alcanzado los objetivos propuestos y en qué grado, y en consecuencia tomar decisiones del tipo: “Evaluar y calificar a los estudiantes” y “evaluar las variables de los procesos de enseñanza y de aprendizaje”; la función de informar a las personas interesadas en los resultados alcanzados; la función de orientación, motivación, y aprendizaje del propio alumno; la función de valoración de los resultados, la cual también colabora a clarificar los mismos objetivos, a modificarlos si fuera necesario y la función de proporcionar información que facilite la investigación educacional, o que proponga áreas de investigación, etc.

En el presente trabajo nos cuestionamos nuestras prácticas evaluativas, y la posibilidad de intervenirlas en función de la problemática planteada. Intervenirlas con una innovación que proponga una práctica evaluativa de manera virtual y asincrónica, en la cual por diseño del dispositivo deje de manifiesto objeto de la evaluación, el criterio de evaluación (el mismo que para el examen final) e indicadores de evaluación y que los resultados de la evaluación tengan carácter formativo (Jutta Hetzer *et al*. 2020); y que el dispositivo cumpla la función de orientación y aprendizaje del propio estudiante a partir de los resultados alcanzados (Fernández Marcha, 2014).

Según el momento en el que se realice la evaluación de los aprendizajes, Fernández Marcha (2014) y Anijovich (2018) explican la evaluación diagnóstica, la evaluación formativa y la evaluación sumativa.

Al respecto, la evaluación diagnóstica es aquella que se realiza al principio de un curso, para intentar identificar los saberes previos que los estudiantes poseen.

Luego, la evaluación formativa está vinculada a analizar los procesos de enseñanza durante el desarrollo del curso, fundamentalmente con la idea de obtener insumos para que el docente pueda mejorar o cambiar su propuesta de enseñanza, y para que el estudiante regule su propio proceso de aprendizaje, pueda reconocer sus fortalezas y debilidades y pueda ir monitoreando su aprendizaje.

Por último, la evaluación sumativa es la evaluación final, es la que permite articular, relacionar e integrar todo lo que fue aprendido a lo largo de una materia.

A continuación, en la tabla 1 se presentan los aspectos más relevantes de la evaluación formativa y sumativa según Casanova (1997).

Tabla 1. Evaluación formativa y sumativa.Fuente: Casanova (1997, p. 72).

Evaluación formativa	**Evaluación sumativa**
Es aplicable a la evaluación de procesos.	Es aplicable a la evaluación de productos terminados.
Se debe incorporar al mismo proceso de funcionamiento o como un elemento integrante del mismo.	Se sitúa puntualmente al final de un proceso, cuando éste se considera acabado.
Su finalidad es la mejora del proceso evaluado.	Su finalidad es determinar el grado en que se han alcanzado los objetivos previstos y valorar positiva o negativamente el producto evaluado.
Permite tomar medidas del carácter inmediato.	Permite tomar medidas a medio y largo plazo.

En el caso de la innovación que se presenta en este trabajo, el tipo de evaluación de la que se hace referencia es una evaluación sumativa, pues el dispositivo es un simulacro del examen final de la asignatura.

De acuerdo al momento en que se lleve a cabo la evaluación de los aprendizajes, la evaluación puede clasificarse en: inicial, durante el desarrollo del proceso y final. Además, según las personas que participan en la evaluación, los procesos de evaluación de clasifican en: autoevaluación, heteroevaluación o coevaluación (Casanova, 1997; y Pimienta Prieto, 2008).

Tabla 2. Evaluación según el momento y los agentes.Fuente: Pimienta Prieto (2008, p. 39).

Según el momento en que se aplique la evaluación.	Evaluación inicial.	Tiene en efecto un fin diagnóstico que llevaría a tomar decisiones sobre la orientación del proceso al inicio del ciclo escolar.
	Evaluación durante el desarrollo del proceso.	Consiste en la valoración continua del aprendizaje, pero también en la revisión del proceso de

		enseñanza.
	Evaluación final.	Implica un proceso de reflexión en torno al cumplimiento de los propósitos del programa en un momento determinado.
Según los agentes intervinientes en la evaluación.	Autoevaluación.	Permite a los estudiantes introducirse en una autovaloración acerca de sus procesos y actuaciones.
	Coevaluación.	La evaluación entre pares es un medio valiosísimo para la emisión de juicios de valor, pero al igual que en cualquier caso, debemos dar a conocer desde el principio cuáles serán los criterios de coevaluación.
	Heteroevaluación.	La heteroevaluación es la evaluación más difundida y es la que realiza una persona sobre otra acerca de su actuación, sus productos de aprendizaje y, en general, acerca de su proceso de aprendizaje.

En la asignatura están presentes las evaluaciones "formativas" y "durante el desarrollo del proceso" que serían las evaluaciones parciales, y las evaluaciones "sumativas" y "evaluación final" que serían el examen final, que es el espacio y momento donde se articulan, relacionan e integran los contenidos aprendidos.

El dispositivo de "autoevaluación", permite a los estudiantes evaluarse respecto de sus aprendizajes, y por situar el dispositivo en un espacio y momento posterior al cursado y regularización de la asignatura habiendo aprobado las evaluaciones parciales, justamente para que sea una suerte de simulacro del examen final, esta autoevaluación tendrá carácter de evaluación "sumativa", y de evaluación "final".

Los criterios de la evaluación de los aprendizajes

Los aspectos o referencias acerca de las evaluaciones auténticas se vieron en párrafos anteriores a partir de Araujo (2021) y de Wiggins (1990) citado por Brown (2015), a lo que se le pude agregar lo expresado por Avolio (2020) respecto a que las evaluaciones auténticas serán aquellas en las que docentes y estudiantes, a partir de la información disponible puedan emitir opiniones y reflexiones que les permitan comprender qué ocurre, cómo y por qué ocurre. La misma autora señala que:

«*En la evaluación se relacionan dos dimensiones. Por un lado, una dimensión real, información disponible sobre el proceso y resultados de aprendizaje. Por otro, un referente, construido en función de valores. Aquello en relación con lo cual se formula el juicio de valor.*

Al evaluar se pretende buscar evidencias, que den cuenta de la marcha del proceso de aprendizaje, en relación con el referente.» Avolio (2020, p. 5).

Los criterios de evaluación deben permitir efectuar la medición del proceso de aprendizaje logrado por el estudiante, especificar cuándo se considera que un estudiante ha alcanzado un objetivo prestablecido. Especificar detalladamente los criterios de la evaluación permitirá valorar de forma homogénea a todos los estudiantes, como así también permitirá establecer el grado de dominio que debe tener un

estudiante en relación con el objetivo que se pretende (Casanova, 1997).

Es importante para el proceso de evaluación establecer los criterios pues permitirá la construcción del referente. Para Tebar (2010, p. 89) «*Los criterios sintetizan todas las posibles modalidades de evaluación que podamos usar*».

El presente trabajo no analiza ni cuestiona el criterio de evaluación del examen final de la asignatura, el cual está indicado en la planificación de la misma, si no, más bien, se generó un dispositivo de autoevaluación condescendiente con ese criterio de evaluación, que sirva de herramienta o instrumento para fortalecer la preparación del examen final de los estudiantes en periodos de tiempos menores a los observados, e indicados como la problemática a abordar en este trabajo. Además, que los estudiantes puedan acceder y observar ese criterio de manera inmediata y directa al momento de utilizar el dispositivo de autoevaluación.

En la tabla 3 se presentan los tipos de criterios de acuerdo al propósito y objeto de la evaluación, Avolio (2020).

Tabla 3. Tipos de criterios y su descripción.Fuente: Avolio (2020, p. 9).

Criterios	**Descripción**
Criterios referidos al producto/producción elaborado por los estudiantes.	Se refieren a la calidad de las producciones elaboradas, definen los atributos de un buen producto, las características que debiera reunir en función de los objetivos previstos y las consignas dadas, cuales son las dimensiones del objeto evaluado que se considera importante tener en cuenta.
Criterios para evaluar procesos.	Permiten responder con mayor precisión y concreción a una serie de interrogantes: ¿cuál es el alcance del desempeño esperado para realizar la tarea, resolver una situación?, ¿qué tipo de desempeño espero de los estudiantes en relación con estos objetivos y contenidos?, ¿qué aspectos de ese desempeño voy a tener en cuenta durante el proceso?, etc.
Criterios vinculados con los aspectos socio- afectivos.	Se refiere a la posibilidad de que cada persona, ante la necesidad de resolver una situación pueda decidir con criterio propio, desarrollar con iniciativa personal la opción elegida y hacerse responsable de ella, tanto en el ámbito personal como en el social.

Jutta Hetzer *et al*. (2020) explica que:

«*La evaluación de referencia criterial informa sobre el aprendizaje alcanzado por el estudiante en relación con algún tipo de criterio establecido. Los criterios de evaluación son la expresión de un nivel de referencia sobre qué y cómo han aprendido los estudiantes.*

Su formulación especifica el tipo y grado de aprendizaje de los contenidos que se esperan hayan alcanzado los estudiantes para una determinada etapa del proceso de enseñanza aprendizaje.» Jutta Hetzer et al. (2020, p. 9).

Conforme la descripción de los criterios de evaluación de Avolio (2020), el criterio de evaluación del dispositivo propuestoes el mismo que el del examen final de la asignatura, que es del tipo "*criterios para evaluar procesos*".

Para asegurar el raso público de la evaluación señalado por Álvarez Méndez (2001) es necesario compartir los criterios de evaluación (Jutta Hetzer *et al*., 2020). Explicitar y hacer públicos los criterios por los cuales van a ser evaluadas las actividades y los trabajos de los estudiantes es una condición que facilita la puesta en práctica de las propuestas de innovación respecto a la evaluación tradicional (Álvarez Méndez, 2001).

El criterio está presente en el programa de la materia (incluido en la planificación), pero en la práctica no necesariamente los estudiantes los tienen presente al momento de las evaluaciones

parciales o finales. Es necesario, más allá de su presencia en la planificación, ponerlos a disponibilidad y al alcance de los estudiantes en instancias específicas, como al momento de realizar la autoevaluación, para su fácil e inmediato conocimiento del mismo (Jutta Hetzer *et al*., 2020), asegurando su raso público (Álvarez Méndez, 2001). El criterio actual de evaluación del examen final de la asignatura, que es el mismo para el dispositivo de autoevaluación propuesto, es un "*criterio para evaluar procesos*".

Instrumentos de evaluación de los aprendizajes

Los instrumentos de evaluación de los aprendizajes son el medio con el cual el docente puede obtener y registrar la información necesaria para comprobar los logros o dificultades, y, a partir de ellos, tomar decisiones (Vírgula, 2021). Se los puede considerar técnicas para evaluar el proceso de enseñanza y de los aprendizajes, permitiendo de esta manera identificar aspectos que deban ser mejorados. Para evitar evaluar un único tipo de conocimiento durante a la evaluación, ésta no deberá depender de una única técnica o instrumento de evaluación.

La utilización de los instrumentos de la evaluación de los aprendizajes en los procesos de evaluaciones debe corresponderse y/o tener relación con aquellos utilizados en los procesos de enseñanza y de aprendizaje. Al respecto, Tebar (2010, p. 92) señala que «*Pedir representar una información, elaborar unos datos, a través las operaciones más diversas: de gráficas, cuadros, esquemas, diagramas, heurísticos, etc., con toda clase de modalidades y símbolos, exige la práctica previa de las mismas en los procesos de enseñanza-aprendizaje en el aula*».

En la tabla 4 se presentan instrumentos de evaluación de los aprendizajes y ejemplos de ellos.

Tabla 4. Tipos de instrumentos de evaluación. Fuente: www.minam.gob.pe

Instrumentos para evaluar el aprendizaje.	Observación directa y sistemática.	Escalas, listas de control, registro anecdotario, lista de cotejo.
	Análisis de producción de los y las estudiantes.	Ficha de metacognición, resúmenes, trabajos, cuadernos de clase, resolución de ejercicios y problemas, pruebas orales, motrices, plásticas, musicales, etc.
	Intercambios orales con los y las estudiantes.	Entrevista, diálogo, puesta en común, grabaciones, observación externa, cuestionario.

En la asignatura *Fundamentos de Tecnología de la Madera*, la evaluación examinadora final tiene como instrumento los "*intercambios orales con los estudiantes*", y contempla diálogo, puesta en común y cuestionario. Como la situación problemática es la demora de los estudiantes en presentarse al examen final, en el dispositivo de innovación el instrumento de evaluación es clave, y para el cumplimiento de los objetivos se aprovecha que la asignatura dispone de un entorno virtual en la plataforma educativa virtual de la Facultad de Ciencias Forestales. Basabe y Amantea (2020) y Sanz (2008) citados por Jutta Hetzer *et al*. (2020, p. 30) proponen instrumentos de evaluación de aprendizajes que pueden ser considerados en entornos virtuales, los cuales son presentados en la tabla 5.

Tabla 5. Tipos de instrumentos de evaluación para entornos virtuales.Fuente: Basabe y Amantea (2020) y Sanz (2008) citados por Jutta Hetzer *et al*. (2020, p. 30).

Tipo de exámenes	**Descripción**	**Tipos de instrumentos**
Examen escrito con ítems de respuesta	Demandan al estudiante respuestas amplias y que admiten respuestas	Exámenes escritos domiciliarios.
		Monografías.

abierta.	diversas. Las respuestas pueden variar en cuanto a extensión, profundidad, organización de la información, enfoque, etc. y ser igualmente correctas.	E – portfolios. Trabajos prácticos o ejercicios.
Examen con ítems de respuestas cerradas.	Están compuestos por consignas que admiten una única respuesta correcta. Al haber una única respuesta correcta previamente definida, en la corrección el evaluador no tiene que tomar decisiones, no establece juicios de valor, y la asignación de puntajes está determinada por el instrumento.	Examen con ítems de respuestas cerradas: elección múltiple, verdadero-falso, apareamiento, ordenamiento y clasificación. Autoexámenes: permiten la autorregulación y autoajuste del aprendizaje del estudiante durante el proceso de enseñanza y de aprendizaje.
Examen con ítems de respuestas mixtas	Exámenes con ítems de respuestas abiertas y cerradas: elección múltiple, verdadero-falso, apareamiento, etc.	Rúbricas (Matrices de valoración). Exámenes orales sincrónicos.

El dispositivo de autoevaluación virtual propuesto se lo clasifica como "*Examen con ítems de respuestas cerradas*", con instrumentos del tipo "*elección múltiple, verdadero-falso, apareamiento, ordenamiento y clasificación*". El criterio de evaluación es el mismo que el del examen final de la asignatura: "*El alumno deberá demostrar conocimiento de las propiedades importantes de la madera que afectan su uso posterior y su efecto sobre la rentabilidad*".

La autoevaluación, mediante la utilización de los instrumentos indicados, podrá permitirle al estudiante analizar su grado de apropiación de los saberes, por ejemplo, a partir de asignar verdadero o faso para corroborar aspectos teóricos conceptuales, como así también el ordenamiento o clasificación de procesos u operaciones respecto de una situación problemática hipotética, para la cual deberá interrelacionar los diversos contenidos y saberes de la asignatura.

5. DISEÑO DE LA INNOVACIÓN PROPUESTA

5.1. Metodología propuesta (acciones)

La metodología consistió en una serie de acciones agrupadas por etapas en que se intentó dar repuesta a ¿Cómo voy a llevar a cabo lo que me propongo en los objetivos? ¿Con qué instrumentos? ¿En cuántas etapas? ¿A quiénes está destinado?

5.1.1. Etapa 1

- El grupo cátedra realizó una consulta bibliográfica respecto de dispositivos de autoevaluación conformes los objetivos y criterios de la evaluación de los aprendizajes, para que desde la cátedra se pueda responder críticamente cuestionamientos sobre las propias prácticas evaluativas de los aprendizajes.

  La consulta bibliográfica comprendió entre otras cosas:

  - Proyectos e innovaciones llevadas a cabo en la temática abordada.
  - Metodologías en cátedras, de ingeniería en general, aplicadas para evaluar aprendizajes.
  - Diseños de dispositivos de autoevaluación en entornos virtuales, en lo posible, con orientación a ingeniería y/o ciencias aplicadas.

- Consultas y reflexiones en la cátedra respecto los objetivos, criterios y metodología de la evaluación examinadora final. Los instrumentos del dispositivo de

autoevaluación como así también la disponibilidad (o disposición) de los criterios de evaluación para los estudiantes, que se propusieron en el módulo optativo dentro del aula virtual dependen directamente de los objetivos, criterios y metodología de la evaluación examinadora final de la asignatura.

- Se propuso discutir y definir en la cátedra los instrumentos del dispositivo de autoevaluación, en base a los criterios para la evaluación de los aprendizajes del examen final. Según Avolio (2020) los criterios pueden clasificarse en:
  - Criterios referidos al producto o la producción realizada por los estudiantes.
  - Criterios para evaluar procesos de aprendizaje.

  Conforme a las descripciones previas, los criterios del dispositivo propuesto de autoevaluación de los aprendizajes son en base a los procesos o del producto.
- Documentar los objetivos, los criterios y la metodología de la evaluación examinadora final. De manera colectiva y como resultado de un proceso de reflexión de la cátedra, se realizó la documentación para tener elementos de referencias definidos, permanentes y al alance tanto de los docentes como de los estudiantes.
- Comunicar formalmente a los estudiantes por los medios disponibles de la cátedra los objetivos, los criterios y la metodología de la evaluación examinadora final (más allá del programa/planificación de la asignatura). Para ello se dispuso esa información en el aula virtual en el módulo extra que se destine para el dispositivo de autoevaluación.

A continuación, en la figura 2, se presenta un diagrama de flujo en el cual se indican jerárquicamente las categorías que llevan hasta el elemento que es objeto de la innovación.

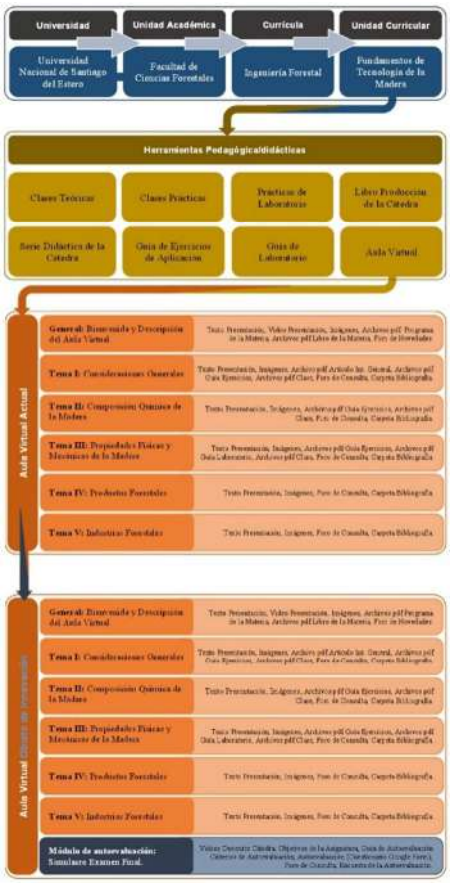


Figura 2. Esquema de representación de categorías del elemento objeto de innovación. Fuente: elaboración propia.

5.1.2. Etapa 2

- Aumentar un módulo al espacio del aula expandida de la asignatura dedicado exclusivamente a la autoevaluación de los aprendizajes.
- Organizar y editar el módulo para comunicar los objetivos de la asignatura, y comunicar los objetivos, los criterios y la metodología de la evaluación examinadora final.

  Se creó en el módulo un primer apartado introductorio que contiene un video de la cátedra en el cual se explica brevemente la importancia de una instancia de autoevaluación de los saberes por parte de los estudiantes. A continuación se indican los "Objetivos de la Asignatura", y utilizando como herramienta una imagen esquemática de los procesos foresto industriales, se explican

los objetivos de la evaluación de los aprendizajes y su implicancia con los objetivos de la asignatura, evitando de ésta manera la concepción externalista de la evaluación, explicada por Cebrián de la Serna y Vain (2008, p. 125) «*el diseño de las evaluaciones dista mucho de ser pensado desde la idea de una evaluación que integra el proceso de enseñanza y no como un procedimiento escindido del mismo*».

- Elaborar/editar instrumentos de presentación y reflexión respecto de los saberes más importantes objeto de la enseñanza en la asignatura, y el impacto de aquellos saberes en la práctica profesional.

  Instrumentos a elaborados:

  - Video propio de la cátedra.
  - Imagen esquemática de los procesos foresto industriales.
  - Foro de consultas.

- Elaborar/editar instrumentos para el dispositivo de autoevaluación, que permite a los estudiantes la posibilidad de experimentar la autoevaluación de los aprendizajes (Araujo, 2021c), con los criterios del examen final de la asignatura, y un dispositivo de retroalimentación sobre la experiencia de los estudiantes respecto la innovación.

  Instrumentos a elaborados:

  - Autoevaluación: formulario Google que consta de 26 propuestas cuya repuesta o respuestas son en formato de varias opciones, casillas de múltiple opciones y cuadrícula de casillas.
  - Retroalimentación: formulario Google, que permita hacer un sondeo acerca de la recepción/percepción positiva o negativa de la innovación, como así también de las posibilidades de mejora del instrumento de autoevaluación, y del efectivo cumplimiento de los objetivos para los cuales fue diseñado.

En la figura 3 puede observarse el inicio del módulo adicional en el aula virtual el cual contiene el dispositivo de autoevaluación. Como el rol seleccionado para ingresar al aula es el de "estudiante", el formato y diseño que se observa en el mencionado módulo es tal cual lo verán los estudiantes cuando acceden al mismo.

Figura 3. Módulo adicional en el aula virtual el cual contiene el dispositivo de autoevaluación. Fuente: elaboración propia.

En la figura 4 se muestra que durante el diseño y edición del módulo efectivamente se contempló la publicación del "*Criterio de Evaluación*", de manera previa a los elementos de acceso de los dispositivos de "*Autoevaluación*", "*Foro de Consulta*" y "*Encuesta sobre la Autoevaluación*".

Figura 4. Dispositivos de Autoevaluación, Foro de Consulta y Encuesta sobre la Autoevaluación, en el módulo adicional en el aula virtual. Fuente: elaboración propia.

A continuación, en las figuras 5 y 6, se muestran el encabezado de la propuesta de "*dispositivo de autoevaluación*". En este encabezado se indican el "*objetivo*", el "*criterio de evaluación*" y el "*formato*" de la autoevaluación.

Figura 5. Encabezado del dispositivo de autoevaluación.Fuente: elaboración propia.

Figura 6. Encabezado del dispositivo de autoevaluación. Fuente: elaboración propia.

En las figuras 7 y 8 se presentan los formatos en los que se postulan conceptos, definiciones, caracterizaciones y situaciones problemáticas, cuya solución o soluciones son en formato de "*varias opciones*", "*casillas de múltiples opciones*" y "*cuadrícula de casillas*".

En todos los casos, cuando en el dispositivo se cambia de tema (o contenido) objeto de la evaluación, a este tema le precede una imagen como una suerte de carátula, que tiene como objetivo ubicar visualmente al estudiante en el nuevo conjunto de saberes que serán objeto de la evaluación.

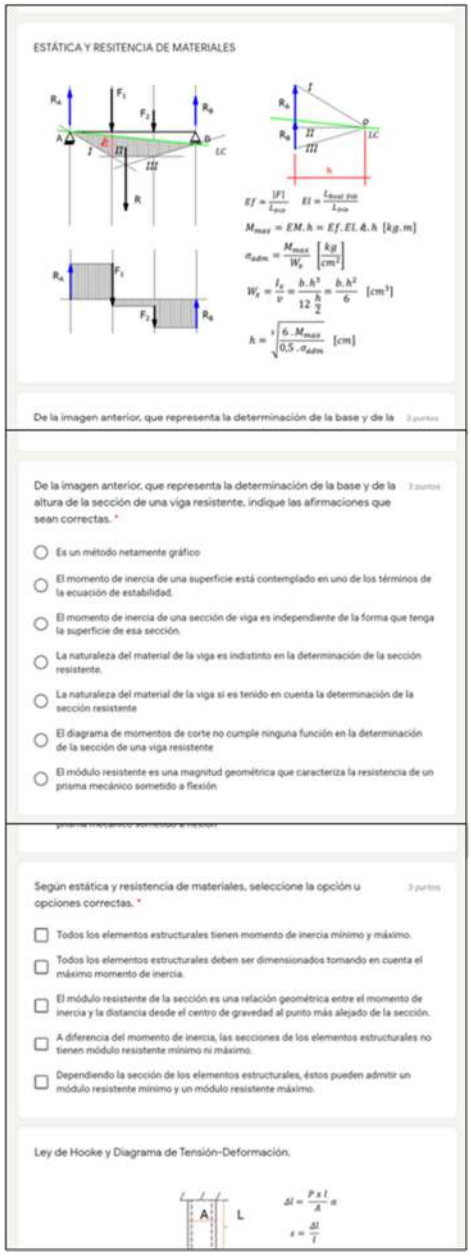


Figura 7. Dispositivo de autoevaluación con de repuestas de varias opciones y casillas de múltiples opciones.Fuente: elaboración propia.

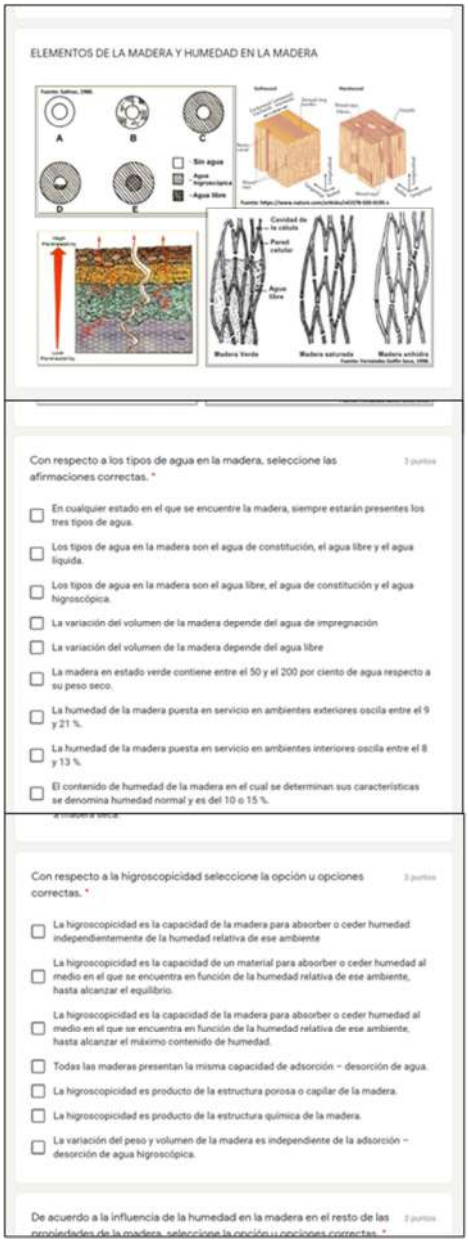


Figura 8. Dispositivo de autoevaluación con de repuestas de casillas de múltiples opciones. Fuente: elaboración propia.

6. CONCLUSIONES

La evaluación educativa constituye un proceso que requiere de una adecuada dirección por parte del docente, quien tiene a su cargo esa actividad sistemática, en la cual son empleados múltiples y variados medios, teniendo en cuenta las características individuales de los sujetos y sistemas evaluados.

La evaluación es también un componente esencial del proceso docente educativo en el cual se evidencian los objetivos (función rectora - punto de partida para elaborar los instrumentos) y el contenido (el volumen - ¿qué evaluar?) de la evaluación.

Evaluar, en cualquiera de los niveles del sistema nacional de educación, pasa necesariamente por el conocimiento del producto, es decir, que a través de un dispositivo para los estudiantes de autoevaluación del aprendizaje, los estudiantes podrán llegar evaluarse y conocer su estado de apropiación de los saberes, de cara a presentarse al examen final de la asignatura, como así, disminuirá notablemente el periodo de tiempo que transcurra desde que los estudiantes regularizan la asignatura, hasta que se presentan al examen final.

7. REFERENCIAS

Álvarez Méndez, J. M. (2001). Evaluar para conocer, examinar para excluir. Edit. Morata. Madrid, España. Pp. 24.

Ameriso, C; Benítez, E; Gagliardini, G; Maceratesi, G; Medina, M. y Raffo, A. (2014). Evaluación del aprendizaje en la educación superior universitaria. Decimonovenas Jornadas "Investigaciones en la Facultad" de Ciencias Económicas y Estadística. Universidad Nacional de Rosario. Pp. 19.

Anijovich, R. y Capelletti, G. (2017). La evaluación como oportunidad. Editorial Paidós, Voces de la Educación. Buenos Aires, Argentina. Pp. 157.

Araujo, S. (2016). Tradiciones de enseñanza, enfoques de aprendizaje y evaluación: dos puntos de vista, dos modos de actuación. Revista Trayectorias Universitarias, Volumen 2, N° 2. Universidad Nacional de La Plata. La Plata, Argentina. Pp. 8.

Araujo, S. (2021a). Apuntes de Clase 2: La evaluación didáctica: la tríada enseñanza, aprendizaje y evaluación. Especialización en Docencia Universitaria, Opción Pedagógica a Distancia. Universidad Nacional de La Plata. La Plata, Argentina. Pp. 3.

Araujo, S. (2021b). Apuntes de Clase 3: Técnicas e instrumentos de evaluación y acreditación. Especialización en Docencia Universitaria, Opción Pedagógica a Distancia. Universidad Nacional de La Plata. La Plata, Argentina. Pp. 5.

Araujo, S. (2021c). Apuntes de Clase 4: Las rúbricas: evaluación, autoevaluación y coevaluación. Especialización en Docencia Universitaria, Opción Pedagógica a Distancia. Universidad Nacional de La Plata. La Plata, Argentina. Pp. 3.

Brown, S. (2015). La evaluación auténtica: El uso de la evaluación para ayudar a los estudiantes a aprender. Revista Electrónica de Investigación y Evaluación Educativa, vol. 21, núm. 2, Universitat de València. Valencia, España. Pp. 1-10.

Barberà, E. (2006). Aportaciones de la tecnología a la e-Evaluación. RED. Revista de Educación a Distancia. Pp. 13.

Barberà, E. (2005). La evaluación de competencias complejas: La práctica del portafolio. EDUCERE, Artículos arbitrados, Dossier sobre evaluación. Venezuela. Pp. 497 – 504.

Cabrales Salazar, O. (2008). Contexto de la evaluación de los aprendizajes en la educación superior en Colombia: Sugerencias y alternativas para su democratización. Revista Educación y Desarrollo Social - Volumen II - No. 1. Bogotá, Colombia. Pp. 141-165.

Casanova, M. (1997). Manual de evaluación educativa. Editorial La Muralla, S. A. Madrid, España. Pp. 252.

Cebrián de la Serna, M. y Vain, P. (2008). Una mirada acerca del rol docente universitario, desde las prácticas de la enseñanza en entornos no presenciales. Revista de Medios y Educación, núm. 32. Sevilla, España. Pp. 117-129.

De Camilloni, A. R.; Celman, S.; Litwin, E. y Palou de Maté, M. C. (1998). Evaluación de los aprendizajes en el debate didáctico contemporáneo. Editorial PAIDÓS SAICF, Buenos Aires, Argentina. Pp. 176.

Davini, M. C. 2008. Métodos de enseñanza: didáctica general para maestros y profesores. Primera Edición, Editorial Santillana. Buenos Aires, Argentina. Pp. 240.

Fernández Marcha, A. (2014). La evaluación de los aprendizajes en la universidad la evaluación de los aprendizajes en la universidad: nuevos enfoques. Instituto de Ciencias de la Educación Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. Pp. 111.

Guzmán, J. C. (2010). La evaluación de los aprendizajes vista desde los profesores efectivos que enseñan psicología. Revista Sinéctica, (34). México. Pp. 15.

Jutta Hetzer, L.; Ferreira Szpiniak, A. y Allende, J. M. (2020). La evaluación de los aprendizajes en la virtualidad. Universidad Nacional de Río Cuarto. Río Cuarto, Córdoba, Argentina. Pp. 44.

Lipsman, M. (2014). El enriquecimiento de los procesos de evaluación mediados por las TIC en el contexto universitario. Revista Iberoamericana de Evaluación Educativa, 7(2). Madrid, España. Pp. 215-222.

Pan, E. (2020). Planificación de Cátedra: Fundamento de Tecnología de la Madera. Carrera de Ingeniería Forestal, Departamento de Industrias, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Argentina. Pp. 9.

Palomo, M. M. (2000). Evaluación, innovación y orientación educativa. XXI, Revista de Educación, 2 (2000). Universidad de Huelva. Pp. 163-175.

Pérez Molares, J. I. (2007). La evaluación como instrumento de mejora de la calidad del aprendizaje. Propuesta de intervención psicopedagógica para el aprendizaje del idioma inglés. Tesis Doctoral, Universidad de Girona. Cataluña, España. Pp. 695.

Pérez Rivera, G. (2007). La evaluación de los aprendizajes. Reencuentro. Análisis de Problemas Universitarios, (48). Pp. 20-26.

Pimienta Prieto, J. H. (2008). Evaluación de los aprendizajes. Un enfoque basado en competencias. Primera edición. Editorial Pearson Educación. México. Pp. 144.

Roig, E. (2013). Evaluación pre ordenada y evaluación deliberativa: en busca de alternativas para la evaluación en la universidad. La

evaluación. Universitaria, EUDEBA. Buenos Aires, Argentina. Pp. 6.

Santos Guerra, M. A. (2017). Evaluar con el corazón. De los ríos de la teoría al mar de la práctica. Primera edición, Homo Sapiens Ediciones. Rosario, Santa Fe, Argentina. Pp. 184.

Sotelo, I. M.; Ale, M. J.; Davila, J. B.; Pedraza, M. y Díaz, V. (2018). Estrategias de acompañamiento en instancias previas a exámenes finales destinado a grupos heterogéneos de estudiantes universitarios de los Profesorados de la Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional de Tucumán. XXVI JJI Jornadas de Jóvenes Investigadores AUGM. Mendoza, Argentina. Pp. 10.

Tébar Belmonte, L. (2010). La evaluación de aprendizajes y competencias en el aula. Fides et Ratio - Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle. Bolivia, 4(4), Pp. 86-98.

Vain, P. (2021ª). Clase 2: Diseño de proyectos de intervención en la Educación Superior. Especialización en Docencia Universitaria, Opción Pedagógica a Distancia. Universidad Nacional de La Plata. La Plata, Argentina. Pp. 8.

Vain, P. (2021b). Clase 3: Orientaciones Teórico-Metodológicas para el Diseño de Propuestas alternativas de Evaluación. Especialización en Docencia Universitaria, Opción Pedagógica a Distancia. Universidad Nacional de La Plata. La Plata, Argentina. Pp. 13.

Páginas web

Anijovich, R. (2018). Evaluación. FLACSO-OEA-Fondo de Cooperación para el Desarrollo-INFOD-Secretaría de Innovación y Calidad Educativa. Recuperado de: https://www.youtube.com/watch?v=guIAN3J8piY

Anijovich, R. y Capelletti, G. (2015). ¿Por qué necesitamos criterios de evaluación? INFOD. Ministerio de Educación y Deportes. República Argentina. Recuperado de: https://www.youtube.com/watch?v=ABGi_AkGkeI

Avolio, S. (2020). Evaluar para enseñar y aprender. Recuperado de: Https// susanaavolio.wixsite.com/website

Real Academia Española. (2005). Diccionario panhispánico de dudas. Recuperado de: https://www.rae.es/dpd/evaluar

Rueda Beltrán, M. (2016). Políticas educativas con relación al currículo escolar y la evaluación de los aprendizajes. Conferencia Evaluación de los aprendizajes. Recuperado de: https://www.youtube.com/watch?v=OmAAaLzDTgs&ab_channel=UPNAjusco

Sarbach, A. (2010). Evaluar y acreditar. Carbonilla. Recuperado de: https://carbonilla.wordpress.com/2010/02/20/evaluar-y-acreditar/

Los instrumentos de evaluación. (2021). Recuperado de: https://www.minam.gob.pe/proyecolegios/Curso/curso-virtual/Modulos/modulo2/1Inicial/m2_inicial/los_instrumentos_de_evaluacin.html

Vírgula (2021). ¿Qué son los instrumentos de evaluación? Recuperado de: https://virgulablog.es/programacion-didactica/elementos-de-la-programacion-didactica/evaluacion/que-son-los-instrumentos-de-evaluacion/

INGENIERÍA, SOCIEDAD Y CULTURA

El diseño industrial con mirada inclusiva. Experiencia de trabajos en conjunto con asociaciones sin fines de lucro.

Boscariol, Juan J.[1]; Correa Berbel, Adriana[1]; Kruzynski, Cecilia I.[1]

(1) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy, juanboscariol@fi.unju.edu.ar; adrianacorreaberbel@fi.unju.edu.ar; cecilia_kruzynski@fi.unju.edu.ar

RESUMEN

Por medio de la firma de Acuerdos de Cooperación Mutua se establece el vínculo entre la Facultad de Ingeniería de la UNJu y Asociaciones sin fines de lucro que brindan atención integral a personas con discapacidad, buscando su autonomía, realización personal y una mejor calidad de vida. Las instituciones con las que se trabaja son A.P.P.A.Ce. (Asociación de Protección al Paralítico Cerebral), que asiste a personas con discapacidades neuromotoras; y la Asociación Todos Juntos, quien tiene el propósito de acompañar a personas con discapacidad intelectual.

En las materias Diseño I y II, de la Carrera Ingeniería Industrial, se lleva a cabo la interacción entre los alumnos y la comunidad que integran estas asociaciones. Los estudiantes, supervisados por los docentes, analizan necesidades específicas, realizando un proceso de diseño que finaliza con la fabricación de objetos inclusivos los cuales satisfacen dichas necesidades, estos se materializan mediante impresión 3D y son entregados para su uso por los chicos y el equipo técnico.

El nexo entre las Asociaciones y la Facultad genera un proceso de enseñanza-aprendizaje que vincula a docentes, alumnos, equipo interdisciplinario y terapéutico y a personas con discapacidad, permitiendo la extensión del saber universitario a necesidades concretas de un grupo social.

ABSTRACT

Through the signing of Mutual Cooperation Agreements, UNJu's Faculty of Engineering becomes involved with non-profit Associations that provide comprehensive care to people with disabilities, seeking their autonomy, personal fulfillment and a better quality of life. The institutions we work with are A.P.P.A.Ce. (Association for the Protection of People with Brain Paralysis), which assists people with neuromotor disabilities; and Todos Juntos Association, which aims to accompany people with intellectual disabilities.

The subjects Design I and II of Industrial Engineering include an interaction between the students and the communities that make up these associations. The students, supervised by the teachers, analyze specific needs, carrying out a design process that concludes with the manufacture of inclusive objects that meet those needs, which are materialized through 3D printing. The students and the technical team deliver said objects for them to be used.

The link between the Associations and the Faculty generates a teaching-learning process that connects teachers, students, the cross-functional and therapeutic team and the people with disabilities, allowing the university knowledge to expand to the specific needs of a social group.

Palabras claves: Diseño Industrial- Discapacidad – Inclusión - Impresión 3D

Keywords: Industrial Design - Disability – Inclusion-3D Print

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la Carrera Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Jujuy (U.N.Ju.) presenta en su Plan de Estudio, distintas materias electivas entre las que se encuentra Diseño I y II.

En el año 2017, se planteó la posibilidad de trabajar con alguna institución del medio y se acordó en una primera instancia, estrechar vínculos con asociaciones civiles sin fines de lucro. En primer lugar, se trabajó con A.P.P.A.Ce. (Asociación de Protección al Paralítico Cerebral) que es una institución muy reconocida en el medio por su importante labor, ya que brindan atención integral a personas con discapacidades neuromotoras. Para ello, se llevó a cabo la firma de un Acuerdo de Cooperación Mutua, lo que permitió a docentes y alumnos establecer un vínculo entre la Facultad y la Asociación para dar inicio a distintas propuestas de trabajo para el desarrollo de diferentes actividades, como ser el diseño de dispositivos para personas con discapacidad, que facilitan el desarrollo de actividades de la vida cotidiana.

Desde el año 2021, y hasta la actualidad, la propuesta se lleva a cabo con otra reconocida Institución del medio, la Asociación Todos Juntos, que tiene el propósito de acompañar a personas con discapacidad intelectual.

Las instituciones brindan todo su apoyo a los alumnos que visitan las instalaciones; lo cual permite entrevistas de campo con los usuarios, y con todo el equipo interdisciplinario de apoyo, de manera de poder recopilar información, para luego realizar el análisis y procesamiento de la misma, y seguir todos los pasos necesarios para el desarrollo de un proceso de diseño. Una vez diseñados los objetos, se realiza la materialización con tecnología de impresión 3D, los cuales posteriormente son entregados a los usuarios.

Las propuestas de trabajo, se desarrollan en grupos de alumnos intervinientes, conformados de tres a cinco integrantes. Las materias se dictan en dos cuatrimestres Diseño I, en el primero, y Diseño II, en el segundo respectivamente.

Ambas materas desarrollan un único objeto, logrando trabajar en mayor detalle en un solo producto, verificando, rediseñando, ajustando, y mejorando las propuestas, como así también se logra trabajar el desarrollo de una marca personal de un posible emprendimiento formado por el grupo de alumnos, que incluye el nombre, el logotipo, el estudio de color, y el desarrollo de toda la imagen corporativa del trabajo en general.

2. METODOLOGÍA

Diseñar, es pensar antes de hacer; pero también es analizar, planificar y ejecutar para responder a necesidades específicas de los usuarios. Es frecuente entender la acción de diseñar, como una actividad estética asociada a lo que está de moda, sin embargo, esto no es suficiente para comprender el potencial que tiene el diseño como actividad proyectual creativa.

El diseño industrial específicamente, puede interpretarse como una actividad creadora, focalizada en el diseño de un producto determinado, sin embargo, el proceso de diseño que se lleva a cabo hasta lograr un producto, es mucho más amplio que eso.

El proceso de diseño que se puede transitar para crear un producto, generalmente se lleva a cabo por etapas. La metodología para el desarrollo de las distintas fases, abarca desde la definición estratégica, hasta el fin de la vida de un producto. Sin embargo, esta división, no significa que el proceso sea estrictamente secuencial ni lineal, ya que algunas fases pueden darse de manera simultánea, integrada, o hasta redefinidas de acuerdo con los mismos avances y resultados obtenidos, lo cual muchas veces puede generar modificaciones en algunas etapas delineadas ya con anterioridad. Por lo que cada proyecto o proceso de diseño es adaptado de acuerdo a su realidad y en función de la actividad institucional.

La metodología adoptada por las materias de Diseño I y Diseño II, para el desarrollo de los distintos productos, toma como referencia el modelo desarrollado por el INTI (Instituto Nacional de Tecnología Industrial) denominado como “Proceso de Diseño, fases para el desarrollo de productos”. Este modelo fue adaptado a la realidad de las actividades planificadas por las cátedras anteriormente mencionadas, y se desarrolló por fases, de la siguiente manera:

1.1 *Fase I – Definición Estratégica*

Se da inicio al proceso de diseño por medio de visitas de campo a las Asociaciones en cuestión, lo cual permite a los alumnos y docentes de la facultad conocer el contexto y el entorno de

trabajo. Dichas visitas permiten la búsqueda y recopilación de información de los estudiantes intervinientes, lo cual dará lugar al estudio y al análisis de las necesidades presentadas en la población asistente. Ver Fig. 1.

Figura 1: Alumnos y docentes en trabajo de campo.

El equipo de trabajo interdisciplinario, conformado por profesionales terapeutas de la institución, docentes y alumnos de la facultad; analizan y estudian las distintas condiciones presentadas, teniendo en cuenta la discapacidad de las personas a intervenir. Es de gran importancia el registro de las historias clínicas y la información recogida a partir de observaciones in situ llevadas a cabo en las distintas visitas realizadas.

La selección de los casos a tratar se lleva a cabo en base a disposiciones de las mismas asociaciones, con el consentimiento de los progenitores de los niños a intervenir, en el caso que los mismos sean menores, y una factibilidad técnica.

Los alumnos intervinientes llevan adelante el procesamiento de la información recabada de las visitas in situ, lo que les permitirá obtener una primera orientación estratégica del proyecto, delimitando los márgenes de acción. Para ello los alumnos, de manera grupal, definen en esta etapa la caracterización de los posibles usuarios del producto, las necesidades existentes o el problema a solucionar con tal producto, como así también establecen los objetivos o premisas generales de diseño.

El procesamiento de la información y los resultados obtenidos de manera grupal, son trabajados y compartidos para conocimiento de toda la audiencia participante. El seguimiento de los docentes de la facultad, es fundamental, ya que acompaña el proceso creativo de los alumnos. Ver Fig. 2.

Figura 3: Trabajo de taller alumnos -docentes

1.2 *Fase II – Diseño de Concepto*

Los grupos conformados realizan las visitas necesarias y aproximaciones al contexto por medio de distintas herramientas planificadas de manera grupal, con el fin de seguir obteniendo información, que les permita enfocar con precisión el grado de dificultad y las limitaciones presentadas. Ello permitirá trazar los lineamientos del producto. En esta etapa los alumnos analizan distintas alternativas para el diseño del producto, en base a requisitos y definiciones realizadas del producto. Ello les permitirá la definición de las características generales del producto, para conceptualizar el mismo de manera clara. Fig. 3.

Figura 3: Exposición grupal en taller – críticas y autocríticas.

Los alumnos dibujan pensando y piensan dibujando. Por medio de bocetos a mano alzada, expresan ideas surgentes y analizan distintas alternativas propuestas. Luego del análisis y estudio de las distintas opciones, el grupo interviniente selecciona por medio de distintas

herramientas, una de ellas para su posterior diseño en detalle.

1.3 *Fase III – Diseño en Detalle*

Los grupos conformados por alumnos, en esta etapa desarrollan y estudian sus respectivas propuestas, de manera de establecer de a poco la definición del producto.
Para ello, los estudiantes, por medio de croquizaciones y gráficos a mano alzada proceden a la definición formal del producto, como así también cada uno de los elementos compositivos y las especificaciones técnicas para su posterior producción.
En esta etapa es fundamental la definición de materiales, la evaluación del cumplimiento de las estrategias y especificaciones de diseño por parte del producto. Fig. 4.

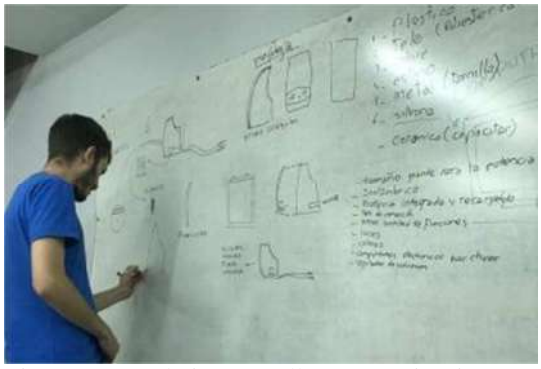


Figura 4: Trabajo en taller. Croquizaciones y gráficos a mano alzada.

Realizar pruebas, diagnósticos y observaciones en uso, por medio de la confección de maquetas de estudio y prototipos rápidos, permitirá al equipo investigativo, tomar las definiciones concretas para luego documentar toda la información y la investigación realizada. Fig. 5.

Figura 5: Trabajo de alumnos con usuario. Maquetas de estudio y prototipos rápidos.

El método de fabricación y la tecnología utilizada para los productos diseñados, es una premisa establecida por los docentes de las asignaturas. El motivo que llevó a determinar tal decisión, es que la Facultad de Ingeniería cuenta con un laboratorio de impresión 3D. Dicha tecnología requiereel desarrollo de todas las especificaciones técnicas del producto diseñado, para que, por medio de distintos softwares de modelado y dibujo en dos y tres dimensiones, lo que permitirá la posterior impresión de prototipos para experimentar y la verificación de su uso para poner a prueba el diseño.
Mediante la utilización de distintos softwares se confecciona la documentación técnica en dos dimensiones y el modelado tridimensional de los distintos objetos diseñados, especificando de tal manera, cada uno de los detalles constructivos de la/s piezas que conforman dichos dispositivos para su posterior fabricación. Para ello es fundamental en esta etapa definir detalles de materiales, proceso de fabricación y técnicas de ensamblado y montaje del objeto. Fig. 6 y 7.

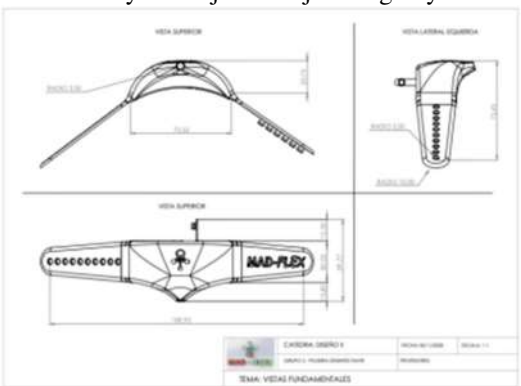


Figura 6: Definición del modelo. Documentación técnica.

Figura 7: Definición del modelo. Imágenes.

1.4 *Fase IV – Verificación y Testeo*

A partir de la evaluación y optimización de recursos de los dispositivos realizada, se procede a la confección y fabricación de los distintos prototipos en base a requisitos morfológicos, tecnológicos y funcionales. Los mismos permitirán comprobar el cumplimiento de las especificaciones establecidas en las fases anteriores, facilitando el paso a la producción final. Fig. 8.

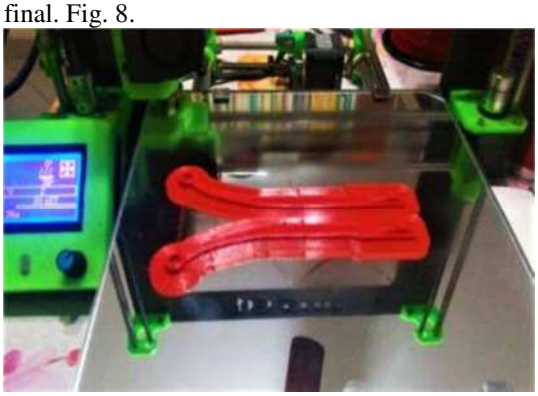


Figura 8: Fabricación de prototipos. Impresión 3D.

En esta fase se verifican las características técnicas como así también las compatibilidades dimensionales de ensamblado y montaje con miras de mejoras en la producción final. Se trata de un proceso interactivo, en el que la solución técnica se convertirá en una solución factible de ser producida a posteriori. Es importante validar y rectificar todos los ajustes de la propuesta en condiciones de uso realista y fabricables. Para ello también es importante hacer rectificaciones pertinentes, realizar visitas de campo y pruebas concretas en los usuarios reales, porque eso permitirá de una manera más específica, ajustar detalles de fabricación en el diseño del producto. Fig. 9.

Figura 9: Verificación de funcionalidad.

Es fundamental que todas las verificaciones realizadas de forma previa a la fase de producción, se lleven a cabo en esta etapa, ya que, de ser necesario, se requiera un reajuste del diseño para asegurar el cumplimiento de los objetivos establecidos. Por lo que nos permitirá convertir progresivamente la solución técnica en una solución fabricable.

1.5 *Fase V – Producción*

La fabricación de los dispositivos se lleva a cabo de acuerdo a características formales, tecnológicas y funcionales en base a requerimientos técnicos específicos comprobados y rectificados en la etapa anterior. El método de fabricación elegido para llevar a cabo estos trabajos, es la tecnología de impresión en 3D, la misma desarrollada a base de polímeros, que, dependiendo el diseño, pueden variar en su composición tecnológica, color, etc., en un laboratorio de impresión 3D perteneciente a la facultad, dado que en esta etapa es fundamental contar con los recursos económicos, edilicios, equipos y herramientas de producción necesarias. Fig. 10.

Figura 10: Fabricación de las partes compositivas del producto. Tecnología de impresión 3D.

Para llevar a cabo lafabricación de las partes que componen cada producto, se requiere haber podido describir la sucesión de actividades necesarias a desarrollar, adecuando y optimizando los recursos al máximo, definiendo los tiempos de cada uno de estos procesos y también los responsables involucrados en la fabricación del producto final.

1.6 *Fase VI – Entrega Final*

Todos los productos diseñados y fabricados por el equipo involucrado, son entregados a las asociaciones para los fines que fueron creados. Cada usuario, o representante, recibe el objeto en nombre de todo el equipo, para ser utilizado en su vida cotidiana. Para ello, autoridades, docentes y alumnos de la facultad, hacen entrega en mano de los productos, como así también de toda la información necesaria para su uso y aplicación. Fig. 11.

Figura 11: Equipos intervinientes. Entrega de los productos diseñados.

Es de destacar, que, en las mismas materias, aparte de diseñar y fabricar el producto en cuestión, los alumnos aprenden y desarrollan, los manuales de uso de los productos, como así también las instrucciones necesarias para tal fin, por aparte desarrollan el diseño de una marca de identidad, con todo lo que ello significa: logotipo, elección del color, diseño de packaging, formatos de presentación, etc. Fig. 12.

Figura 12Presentación final. Propuesta de diseño de identidad del producto.

3. DESARROLLO

Tal como se menciona en los párrafos precedentes, desde 2017 se viene trabajando de manera coordinada y conjunta con diferentes asociaciones civiles de la provincia de Jujuy, con la finalidad de desarrollar objetos que satisfagan las necesidades de personas con distintas discapacidades.

La primera experiencia tuvo lugar entre los años 2017 y 2019 con A.P.P.A.Ce. -Asociación de Protección al Paralítico Cerebral- que asiste a personas con discapacidad neuromotora. En ese entonces, se firmó un Acuerdo de Cooperación Mutua vinculando a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jujuy con dicha Asociación y se dio inicio a un trabajoconforme al proceso de diseño establecido por la cátedra.

Cada año, se planificaba una visita a A.P.P.A.Ce. en la que se hacía una presentación formal de los docentes y los alumnos con las autoridades, el equipo técnico, el equipo de salud y las diferentes personas que se asisten a la institución a fin de recibir un tratamiento especializado de acuerdo a su discapacidad. Allí se determinaban pautas de trabajo y se designaban roles. A cada grupo de estudiantes de Diseño I, el equipo de la

Asociación le designaba un niño o una niña con discapacidad, quien sería el usuario específico para el cual desarrollarían un objeto que determinarían de acuerdo a la investigación que los alumnos realizaran con dicha persona y que fuera necesario a fin de paliar su condición. Es interesante destacar el trabajo con un usuario real y, en este caso, no sólo era real sino también específico, con necesidades particulares a satisfacer con un objeto puntal, y que pudiera hacerse extensivo a más personas con condiciones similares.

Posteriormente, dando inicio al proceso de diseño, los estudiantes avanzados de Ingeniería realizaban diferentes visitas de campo, entrevistando a los distintos profesionales de la Asociación de Protección al Paralítico Cerebral y compartiendo tiempo con el niño o niña en cuestión, a fin de especificar, dentro de las necesidades, las características que luego serían ponderadas y clasificadas para lograr una mejor definición estratégica del producto.

Las discapacidades más frecuentes observadas en los chicos y chicas fueron parálisis cerebral con afectación de la motricidad, postura y lenguaje, falta de miembros superiores y/o inferiores y ELA – esclerosis lateral amiotrófica. Es así que los grupos de trabajo, asesorados por el equipo interdisciplinario de A.P.P.A.Ce., estudiaban estas condiciones con la mayor dedicación posible.

Durante el desarrollo de concepto y de detalle, los alumnos y alumnas de las asignaturas de Diseño, con el "qué hacer" ya definido en la etapa diseño estratégico, comenzaban a trabajar en el "cómo". Así, perfeccionando diferentes opciones formales, funcionales y tecnológicas, y tomando como base las necesidades detectadas y ponderadas con anterioridad, se delimitaban las premisas y objetivos del diseño. Los días posteriores, se continuaba con las visitas a la Asociación, pero esta vez para probar los diferentes adelantos del producto que estaban desarrollando. Cada avance y decisión grupal era presentadaclase a clase, mediante exposición gráfica y conceptual, logrando así un proceso de retroalimentación con los docentes. Es importante destacar un fuerte vínculo entre estos, los estudiantes y el resto del equipo interdisciplinario de A.P.P.A.Ce., lo que permitió la realización del proceso de diseño de manera conjunta y armónica.

Año a año se realizaron diferentes objetos cuyas premisas y necesidades a satisfacer se iban adaptando a las distintas discapacidades detectadas, como por ejemplo un adaptador de silla escolar fabricado de manera íntegra, en partes de cartón reciclado ensambladas entre sí, por su parte un tablero de trabajo escolar con espacio de guardado, un adaptador de mouse que simplificaba su uso a una sola tecla pulsadora central, un adaptador de teclado de computadora, un ukelele, diferentes tipos de adaptadores para escritura, y un pictograma para la comunicación de personas con parálisis cerebral con afección del lenguaje, entre otros. Fig. 13.

Figura 13: Diferentes objetos desarrollados en los años 2017 a 2019 para A.P.P.A.Ce.

En una primera instancia, el uso de la impresora 3D para la materialización de los objetos era opcional, por lo que se pueden observar productos desarrollados con otras tecnologías. Posteriormente, se determinó que la impresión 3D sería condición obligatoria para el desarrollo del mismo, a fin de unificar el grado de complejidad y tamaño de los objetos a desarrollar por los diferentes grupos de alumnos.

En la etapa de verificación y testeo, los estudiantes comprobaban los objetos en progreso realizando maquetas e impresiones rápidas que llevaban a la Asociación para luego presentarlas al usuario – niño/ niña con discapacidad- a fin de comprobar su efectividad y realizar los ajustes necesarios hasta llegar a la fabricación final del producto.

Para la entrega de los objetos diseñados por los estudiantes de las cátedras de Diseño I y Diseño II se organizaron emotivos actos en las instalaciones de la Asociación donde los mismos alumnos eran quienes entregaban los productos a cada niño o niña haciendo una demostración del funcionamiento de los mismos. Fig. 14.

Figura 14: Entrega de los diferentes objetos a A.P.P.A.Ce.

En el año 2020, a raíz de los efectos de la pandemia de COVID 19 que afectó a la totalidad de los países, y bajo la imposibilidad de trabajar nuevamente en conjunto con A.P.P.A.Ce, se optó como propuesta académica realizar, mediante la virtualidad, distintos objetos con temática específica de la situación sanitaria vivida. En ese sentido, surgieron como ideas principales diseños referidos a dispositivos de agarre transportables y dispositivos de desinfección para uso cotidiano en este contexto. Los mismos, como se mencionó con anterioridad, serían fabricados mediante el uso de impresoras 3D. Los resultados de dicha propuesta fueron sumamente interesantes.

Desde el año 2021, hasta la actualidad, luego de adaptar las estrategias a los protocolos de seguridad surgidos a raíz de la pandemia, iniciaría la segunda etapa de experiencias con instituciones del medio. En este sentido, se ha venido trabajando con la Asociación Civil Todos Juntos, quien tiene como propósito principal acompañar a personas con discapacidad intelectual. Para esta Asociación, la metodología de trabajo implementada es similar a la anterior, realizando también un Acuerdo de Cooperación Mutua y respetando casi en su totalidad el proceso de diseño antes mencionado.

Asimismo, entre las diferencias más significativas respecto al procedimiento de trabajo preliminar, se puede enumerar una serie de cambios producidos en la forma en que los grupos de estudiantes se relacionan con el usuario del objeto. Bajo la nueva estrategia, se propuso que en vez de desarrollar un producto para alguien específico (una sola persona con determinada discapacidad y características), el objeto de la ayuda se ampliaría a un grupo de personas con Síndrome de Down, de un determinado rango etario, que formen parte de dicha Asociación Civil.

Es así, que, desde la fecha mencionada, la propuesta de los docentes y el equipo interdisciplinario de Todos Juntos, fue realizar objetos diseñados específicamente para mejorar determinadas condiciones visuales en niños y niñas hasta los 13 años de edad con Síndrome de Down. Si bien la temática de abordaje estaba establecida por el equipo interdisciplinario de la Asociación, los estudiantes debían determinar qué tipo de material de estimulación visual desarrollar y cómo lo iban a hacer. Para ello, se conformaron dos grupos de cuatro alumnos quienes trabajaron de manera continua en un hibrido entre visitas puntuales a la Asociación, reuniones de equipo y clases sincrónicas virtuales con los docentes, debido a que el protocolo educativo todavía no permitía la presencialidad en la Universidad Nacional de Jujuy.

A pesar de todas las dificultades que se presentaron en el marco de la pandemia, el resultado del desarrollo del proceso de Diseño de los objetos con las premisas antes mencionadas fue muy exitoso. Mediante el mismo se lograron crear, por un lado, unos lentes de rehabilitación visual para uso profesional que ayudan a ejercitar el ojo con estrabismo mediante agujeros estenopeicos y, por otro, unos lentes oclusores, también de uso profesional, para trabajar la condición de ambliopía, es decir, para adiestrar el “ojo vago”. Ambos productos estuvieron destinados a niños y niñas con Síndrome de Down y se realizaron íntegramente mediante el uso de la impresora 3D.

Fig. 15.

Figura 15: Lentes de estimulación visual para ejercitar el ojo con estrabismo.

En el año 2021, durante el cursado de la materia de Diseño II, los estudiantes realizaron los envoltorios o packaging para ambos objetos. Así, lograron diseñar e incorporar lugares de

guardados específicos para cada una de las partes y/o accesorios de los lentes, lo que es fundamental para lograr la correcta conservación y uso de los dispositivos.

Ya en el año 2022, con la vuelta a la presencialidad en el cursado de la asignatura Diseño I, y el respeto de los protocolos vigentes, se decidió continuar con esta dinámica de trabajo en articulación con la Asociación Civil Todos Juntos. De esta manera, y a modo de implementar nuevos desafíos para los grupos de estudiantes, surge una propuesta sumamente innovadora por parte de la institución: el desarrollo de material de estimulación cognitiva para personas con Síndrome de Down que se encuentran transitando la etapa adulta y cuya oferta en el mercado es inexistente. Este nuevo reto permitirá continuar el excelente trabajo en conjunto que viene desarrollando el equipo interdisciplinario conformado por ambas instituciones: docentes, alumnos y profesionales de Todos Juntos y, desde una nueva mirada, un nuevo usuario: personas con Síndrome de Down en etapa adulta.

4. RESULTADOS

Los dispositivos diseñados como actividades planificadas para el cursado las materias de Diseño I y Diseño II, tuvieron gran aceptación por parte de las distintas asociaciones participantes, como así también de la sociedad en general, por tratarse de un fin social que propende colaborar con la inserción activa de las personas con discapacidad. Medios de comunicación locales y nacionales, visibilizan las propuestas de estas materias, con el fin de compartirlas con la sociedad.

Año a año, las cátedras buscan innovar en las propuestas que se elaboran para los diferentes grupos de estudiantes, por lo que tomando como base el proceso de diseño propuesto, se trabaja modificando las características de los usuarios, siempre reales y tangibles, desde uno en particular a diferentes grupos de rangos etarios distintos y necesidades varias. Por otra parte, cada actividad es aceptada con gran entusiasmo por los alumnos, quienes hacen propio el desafío logrando resultados innovadores y de gran calidad, asumiendo con gran compromiso social, responsabilidad y ética el desarrollo del mismo.

Dichas cátedras reciben desde hace un par de años más cantidad de alumnos inscriptos, por las expectativas que genera dicha experiencia, considerando que es una actividad que vincula al alumno a su futura profesión, como así también con la sociedad y el medio. El desarrollo de estos trabajos es un aprendizaje constante no solo para alumnos sino también para docentes, quienes trabajan y se reinventan constantemente, modificando las actividades propuestas por las materias constantemente a partir de las experiencias vivenciadas. Se perciben año a año resultados cada vez más interesantes. El compromiso asumido por todos los alumnos participantes es cada vez mayor, como así también el proceso y los resultados. De manera conjunta se produce un crecimiento a trabajar cada vez mejor por la obtención de resultados superadores en beneficio de la sociedad en su conjunto.

5. CONCLUSIONES

Desde la Facultad de Ingeniería, el Diseño Industrial, como así también la implementación de nuevas tecnologías; se considera que se puede contribuir en la mejora de la calidad de vida de personas con discapacidad mediante la fabricación de dispositivos de adaptación u objetos que le permitan la realización de actividades estimulación, de inclusión y de la vida cotidiana en general. El diseño, utilizado como disciplina creadora, puede mejorar la calidad de vida de todas las personas que nos rodean acorde a la necesidad. Al desarrollar elementos de diseño que son inclusivos, también se fomenta en la sociedad una cultura de la inclusión. Como personas, podemos aportar desde el diseño, como así también se puede educar a las personas para lograr la sensibilización hacia la inclusión. En la actualidad, la inclusión debería ser parte de un nuevo lenguaje de diseño.

Se espera que los dispositivos diseñados y fabricados hasta el momento, colaboren a todas las personas en el desempeño de ciertas actividades de la vida cotidiana, favoreciendo la autonomía e inclusión en el desarrollo de sus tareas.

Como docentes, se busca siempre la innovación en la propuesta del proceso de enseñanza y aprendizaje de las diferentes etapas del proceso de diseño, aspirando a formar Ingenieros Industriales que se destaquen no solo por sus conocimientos teóricos y prácticos, sino también por su compromiso con la sociedad y la

vinculación con la realidad que nos rodea. Se pretende trabajar de manera conjunta, por una sociedad más inclusiva y equilibrada. Como profesionales a cargo, asumimos un rol muy importante en la tarea de formar a los futuros ingenieros con un gran compromiso social y profesional

6. REFERENCIAS

- Amaya, M.G. (2017, 6 de noviembre). *Inclusión escolar. A.P.PA.CE. Asociación de Protección al Paralítico Cerebral.* Recuperado de http://www.appace.org/2017/11/inclusion-escolar/

- Argüelles P.P. (2008). *Parálisis cerebral infantil. Protocolos Diagnóstico Terapéuticos de la AEP: Neurología Pediátrica*, 36, 271-277. Recuperado de: https://www.aeped.es/sites/default/files/documentos/36-pci.pdf

-https://www.inti.gob.ar/areas/desarrollo-tecnologico-e-innovacion/areas-de-conocimiento/diseno-industrial

Estado del arte de las presas argentinas, necesidad de evaluación de su seguridad sísmica y métodos de análisis

Capua, Daniel M.N.[1]; Daziano, Alejandra[1]; Jacinto, Abel C.[1]

(1) *Facultad Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Tucumán.*
nicolascapua@gmail.com;madaziano@herrera.unt.edu.ar, ajacinto@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN

Las presas son obras de gran importancia y sus condiciones de seguridad deben ser óptimas. El último registro de sismicidad del INPRES (31 de agosto, 2011 al 31 de enero, 2012) informa 4.066 sismos localizados en Argentina. Desde 01 de enero al 01 de abril de 2023 se registraron 1.448 sismos. Existen en Argentina más de 130 grandes presas, 36 de las cuales se encuentran emplazadas en el Noroeste Argentino (NOA). Dentro de las grandes presas, si se considera su tipología, existe un predominio de las presas de materiales sueltos, abarcando un 43% del total. El desempeño de estas bajo acción sísmica, se puede evaluar a través de los diferentes enfoques que incluyen métodos pseudoestáticos basados en la fuerza y fundados en el desplazamiento, métodos de bloques deslizantes y análisis dinámicos. Actualmente, se pueden realizar modelos numéricos mediante elementos finitos que reproducen un modelo virtual muy preciso de la estructura. La acción sísmica se puede representar mediante historias temporales de aceleración, correspondientes a sismos reales registrados, o mediante acelerogramas sintéticos, simulados o híbridos. En este trabajo se brinda un panorama de la situación de las presas en Argentina, el escenario sísmico general y los métodos disponibles para el análisis dinámico.

Palabras claves: presas – seguridad – sismos – análisis dinámico

ABSTRACT

Dams are critically important engineering works and the highest safety standards must be ensured. The latest INPRES seismicity record (August 31, 2011 to January 31, 2012) reports 4,066 localized earthquakes. From January 1 to April 1, 2023, 1,448 earthquakes were recorded in Argentina. There are more than 130 large dams in Argentina, 36 of which are located in the region of norhwestern Argentina. Within the large dams, if their typology is considered, there is a predominance of earth dams, covering 43% of the total. Their performance under seismic action can be evaluated through different approaches that include force-based and displacement-based pseudostatic methods, sliding block methods, and dynamic analysis. Currently, numerical models can be made using finite elements that reproduce a very precise virtual model of the structure. Seismic action can be represented either by acceleration time histories, corresponding to real recorded earthquakes, or by synthetic, simulated or hybrid accelerograms. This paper provides an overview of the situation of dams in Argentina, the general seismic scenario and the available methods for dynamic analysis.

Keywords: dams – safety – earthquake – dynamic analysis

1. INTRODUCCIÓN

Las presas son infraestructuras estratégicas que contribuyen al bienestar de la sociedad y el desarrollo de los pueblos; cumplen diferentes propósitos tales como el control de crecidas, la provisión de agua para uso consuntivo, producción de energía, áreas de esparcimiento y otros. Tambiénsuponenunciertoriesgo porlas consecuenciasderivadasdeuneventualincidente/rotura.

Lahistorianosmuestranumerosasfallasdepresasque constituyeronverdaderascatástrofes,traducidasenfuertespérdidasdevidas,dañoseconómicos,dañosalambienteyfuerte impactosocial. Entre los casos más conocidos, se pueden mencionar: Austin, E.U., 1911 (80 muertos); St. Francis, E.U., 1928

(450); Vega de Tera, España, 1959 (144); Malpasset, Francia, 1959 (421); Vaiont, Italia, 1963 (2.600); Baldwin Hills, E.U., 1963 (5); Oros, Brasil, 1960 (1.000); Panshet, India, 1961 (4.000); Teton, E.U. 1976 (14); Machu, India, 1979 (2.000), entre otras. (Bereciartua y Dalmati, 2018).

El 4 enero de 1970, en la ciudad de Mendoza, Argentina, una precipitación intensa generó una avenida que destruyó al dique del arroyo Frías, dando lugar a la mayor catástrofe sufrida por la ciudad, después del terremoto del año 1861. Los daños materiales fueron cuantiosos y hubo 42 fallecidos. (Capitanelli, 1970).

Resulta clave lo expuesto por Juncal (2019), donde afirma que la prevención, mitigación y reparación de las catástrofes naturales y antrópicas se sustentan en una adecuada regulación, fiscalización y control de la infraestructura crítica de la sociedad.

En la República Argentina se ha construido más de un centenar de grandes presas y un importante número de presas de menor dimensión. Existen también diques de protección ante crecidas, terraplenes de recrecimiento de cuerpos lagunares, azudes y presas de relave minero o diques de cola.

Pero no existe un inventario preciso ni una ley o regulación nacional que garantice una explotación segura de los aprovechamientos.

Por lo tanto, es necesario contribuir al establecimiento de los mejores estándares de seguridadentodaslaspresasdelpaís. Al hablar de seguridad, es común referirse al riesgo asociado a determinados escenarios, donde el riesgo hidrológico y el riesgo sísmico son, indudablemente, los primeros en plantearse.

En este trabajo se brindará un panorama de la situación de las presas en Argentina, el escenario sísmico general y los métodos disponibles para el análisis dinámico.

2. SISMICIDAD EN ARGENTINA

Se puede observar en el último mapa de sismicidad del Instituto Nacional de Prevención Sísmica - INPRES (Fig. 1) la distribución de los epicentros sísmicos. En los últimos 400 años se han producido terremotos destructivos, pero éstos no han afectado a las zonas más densamente pobladas y, por lo tanto, se ha subestimado la verdadera importancia del elevado nivel de peligro sísmico potencial. (INPRES, 2012).

En el período comprendido desde el 01/01 al 01/04 de 2023 se registraron en Argentina un total de 1448 sismos, de diferentes magnitudes en la escala de Richter (INPRES, 2023).

Su distribución se presenta en la Tabla 1. El Noroeste Argentino (NOA) es la segunda zona con mayor actividad sísmica del país, luego de la región Centro – Oeste. La probabilidad de que ocurra una determinada amplitud de movimiento del suelo en un intervalo de tiempo fijado, depende del nivel de sismicidad de cada zona. En la Fig. 2 se presenta el Mapa de Zonificación Sísmica del Reglamento INPRES-CIRSOC 103 donde se identifican 5 zonas de distinta peligrosidad sísmica. Se observa la concordancia entre los registros por región y el peligro sísmico de cada una de ellas (INPRES, 2018).

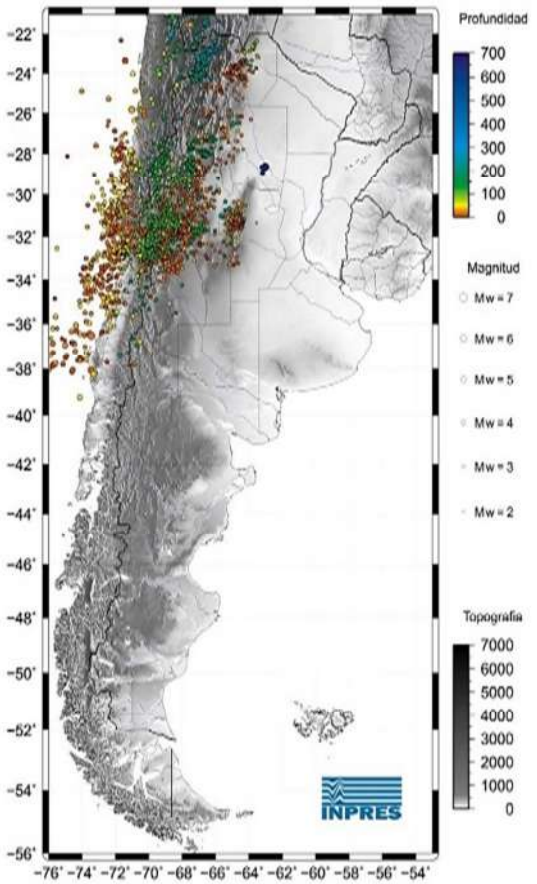


Figura 1. Último registro de sismicidad del INPRES, desde el 31 de agosto de 2011 al 31 de enero de 2012 (total de sismos localizados 4.066).

Tabla 1.Distribución de los registros sísmicos en Argentina por Región y Provincia (enero-abril 2023).

Región	Provincia	Cantidad	Total	[%]
N.O.A.	Jujuy	150	580	40
	Salta	180		
	Tucumán	7		
	Catamarca	79		
	Santiago del Estero	15		
	La Rioja	149		
Cuyo	Mendoza	88	835	58
	San Juan	732		
	San Luis	15		
Centro	Córdoba	22	22	2
Patagonia	Neuquén	9	11	1
	Santa Cruz	2		

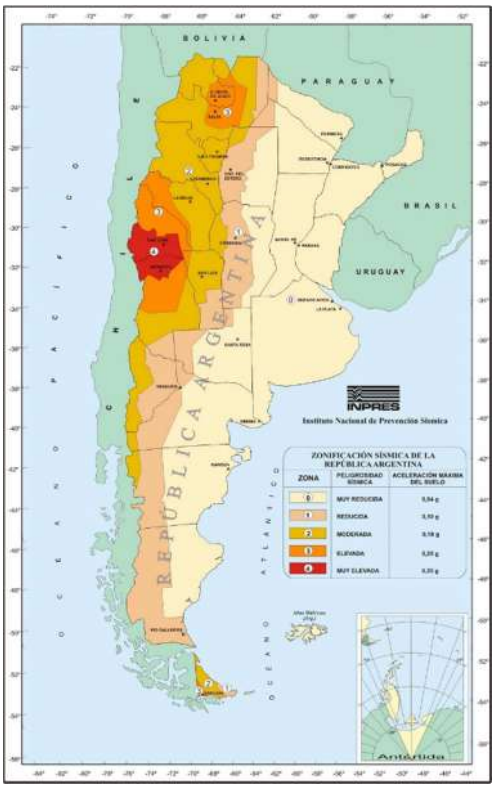


Figura 2. Zonificación Sísmica de la República Argentina. INPRES 2018.

3. PRESAS EN ARGENTINA Y EN EL NOA

Existen en Argentina más de 130 grandes presas, 36 de las cuales se encuentran emplazadas en el NOA (Fig. 3). En la Tabla 2 se observa la distribución de aprovechamientos en el territorio nacional. Puede contemplarse la existencia de gran cantidad de aprovechamientos en ciertas provincias con escasez de agua superficial y zonas áridas (ORSEP, 2020).

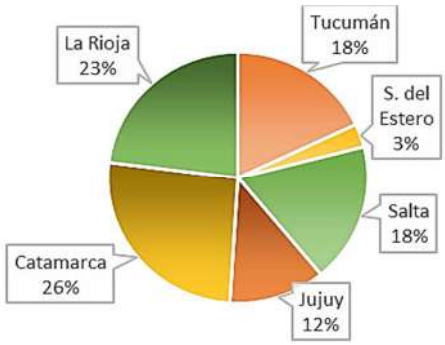


Figura 3. Distribución de presas en el NOA.

Tabla 2. Distribución de las presas por jurisdicción.

Jurisdicción	Cantidad	Jurisdicción	Cantidad
Buenos Aires	8	Neuquén	5
Catamarca	10	Neuquén/R. Negro	6
Chaco	3	Rio Negro	2
Chubut	2	R. Negro/La Pampa	3
Córdoba	26	Salta	14
Binacionales	2	San Juan	7
Formosa	3	San Luis	18
Jujuy	6	Santa Fe	1
La Rioja	13	Santiago del Estero	5
Mendoza	16	Tucumán	20
Misiones	2	Total	172

La Comisión Internacional de Grandes Presas a nivel mundial (ICOLD) define a las grandes presas como aquellas cuya altura supere los 15 metros o esté entre 10 y 15 metros y satisfaga al menos uno de los siguientes criterios:

- Más de 500 m de longitud de coronación;
- Capacidad de embalse superior a 1 hm3;
- Capacidad de vertedero superior a 2000 m3/s;
- Presas con problemas especiales en la fundación;
- Presas provenientes de proyectos no usuales.

Dentro de las grandes presas, si se considera su tipología, existe un predominio de las presas de materiales sueltos, abarcando un 43% del total

(ORSEP, 2020). En cuanto a la altura, el 65% es inferior a 50 m, pero existen 13 presas con alturas superiores a 100 m. En la Tabla 3 y Fig. 4 se muestra la distribución de las presas en el país, de acuerdo a su tipología. (ORSEP, 2020)

Tabla 3. Distribución de las presas por tipología.

	Cantidad	Porcentaje (%)
Gravedad	40	26,4
Arco	14	9,2
Contrafuertes	15	9,8
HCR*	3	1,8
Escollera	11	7,4
Materiales sueltos	65	42,9
CFRD**	4	2,5
TOTAL	152	

* H° Comp. Rodillo, ** Materiales Suelos c/pantalla

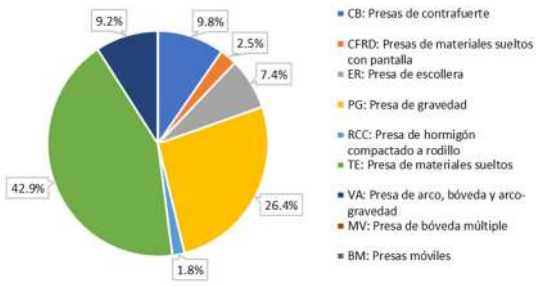


Figura 4. Distribución de presas según tipología.

Las presas de materiales sueltos predominan en alrededor del 65 % de todas las presas registradas en el mundo. Este es el tipo más arcaico y se han encontrado evidencias en las civilizaciones más antiguas. Además, este tipo de presa resulta muy versátil, ya que puede construirse con materiales locales y se adaptan a una amplia gama de condiciones del terreno de cimentación. Con un propósito comparativo se muestra el siguiente gráfico (Fig. 5) de tipologías de presas sobre 60.000 relevadas por ICOLD. (ICOLD, 2020)

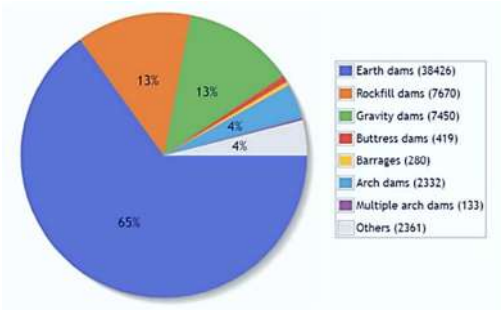


Figura 5. Tipología de presas a nivel mundial, ICOLD (2020).

En Argentina, existe un proyecto de legislación en el ámbito del Congreso Nacional y una urgente necesidad de aprobación y puesta en vigencia. El Comité Argentino de Presas reconoce la necesidad de que exista una Ley Federal de Seguridad de Presas, que establezca las pautas que toda presa de embalse deba respetar, dotando a la entidad administradora de recursos suficientes para la ejecución de las tareas necesarias, a los efectos de garantizar la seguridad de las personas y bienes ubicados aguas abajo. En 2019 el proyecto de Ley, recibió media sanción de la Cámara de Senadores.

La ley diferenciará los distintos niveles de riesgo de acuerdo con la clasificación de daño potencial. Este se define en base a sus características, tales como altura, volumen de embalse y longitud de coronamiento. A la fecha, sólo existen inventarios realizados por distintos organismos nacionales y provinciales. Esta clasificación tendrá en cuenta la población total en núcleos afectados en caso de un daño potencial. El ORSEP (Dalmati, 2018) estima que más de 4.000.000 de personas están en riesgo de inundación por crecidas ordinarias e incidentes en presas.

La seguridad de las presas no sólo radica en el tratamiento de los aspectos técnicos, sino que depende de muchos otros factores, como son la planificación, el factor humano, la organización y los sistemas de gestión, todos fundamentales para alcanzar un nivel de riesgo aceptable. (Giuliani y Baylac, 2007). Resulta importante estimar la probabilidad de falla de las presas, para lo que se requiere de un análisis sistémico, donde se tengan en cuenta las distintas amenazas que podrían dar lugar al colapso de la obra, los modos de falla vinculados a estas amenazas y los procesos correspondientes a cada caso, a fin de evaluar partes vitales del sistema (presa, estribos, vertedero, etc.) (Giuliani, 2006). Las causas más comunes son el sobrepaso y la erosión interna, le siguen, la inestabilidad en la fundación y las excesivas deformaciones en la presa (Giuliani y Baylac, 2007).

4. EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD SÍSMICA DE LAS PRESAS EXISTENTES

Hay muchas presas que se han construido sin tener en cuenta las solicitaciones sísmicas o fueron diseñadas empleando métodos hoy obsoletos. Por lo tanto, no se sabe si estas presas cumplen con los criterios de seguridad y diseño

sísmico actuales. Además, existe la necesidad de controles de seguridad sísmica en los siguientes casos (Wieland, 2009):
- Se dispone de nueva información sobre peligrosidad sísmica (amenazas múltiples) y/o sismotectónica.
- Una presa ha sido objeto de fuertes excitaciones sísmicas.
- Se introducen nuevos criterios de diseño sísmico.
- Se introducen nuevos criterios referidos a la seguridad sísmica y al comportamiento.
- Se introducen nuevos métodos dinámicos de análisis, como el análisis dinámico no lineal.
- La vulnerabilidad sísmica de una presa ha aumentado debido a las modificaciones de la presa, el envejecimiento, etc.
- Cambios en la clasificación de riesgo de las represas.
- El riesgo sísmico ha aumentado, por ejemplo, debido al mayor número de personas que viven aguas abajo de una presa y/o debido al desarrollo económico, etc.

Frente a una legislación inexistente, en un país donde no se dispone de un inventario, se desconoce la vulnerabilidad sísmica de las presas. El primer paso es categorizar, en una escala global, la situación de cada estructura, es decir, generar un ordenamiento para asignar prioridades a la hora de realizar estudios más complejos. Es posible asignar a cada presa una categoría de riesgo sísmico, mediante la metodología del Índice de Vulnerabilidad Sísmica (Daziano, 2018). Este método utiliza una escala de valores para calificar diferentes características estructurales y constructivas de una presa, a las que se les asigna un valor numérico y cuya suma total representa la vulnerabilidad sísmica.

El desempeño de las presas de materiales sueltos, sometidas a acción sísmica, se puede evaluar a través de diferentes enfoques que incluyen métodos pseudoestáticos basados en la fuerza, basados en el desplazamiento métodos de bloques deslizantes y análisis dinámicos (Sherard, 1967; Seed et al., 1975).

4.1 *Análisis pseudoestático*

Los métodos de análisis sísmico pseudoestático para presas se introdujeron a mediados de la década de 1930. Si bien, desde el terremoto de San Fernando del 9 de febrero de 1971 en E.U, quedó en evidencia que el método pseudoestático simple no era un método seguro para analizar presas con un gran potencial de daño, a pesar de eso, aún es de uso frecuente en la actualidad. (Wieland, 2009)

Este método consiste en realizar análisis estáticos equivalentes en los que el efecto de la acción sísmica se representa por fuerzas virtuales de inercia proporcionales a las aceleraciones actuantes (Terzaghi, 1950; Kramer, 1996). Se busca el bloque de deslizamiento más crítico (habitualmente limitado por superficies planas o circulares) y se determina el coeficiente de seguridad al deslizamiento como el cociente entre la fuerza resistente y la suma de solicitaciones estáticas y pseudo-estáticas. (Shan et al.,2019).

La respuesta de la presa a un sismo está relacionada con varios factores, como la geometría de la presa, las propiedades mecánicas de los materiales de construcción, distribuciones de tensiones presísmicas y presiones intersticiales dentro del cuerpo de la presa y las características intrínsecas del movimiento sísmico. La mayoría de estos factores son parcial o totalmente desatendidos por los enfoques tradicionalmente adoptados para evaluar la seguridad sísmica de presas de tierra. Por ejemplo, algunos parámetros de intensidad sísmica como el contenido de frecuencia y duración que afectan significativamente la respuesta del suelo, se desprecian en el enfoque pseudoestático (Ambraseys, 1960). Al emplear un análisis pseudoestático, se asume que la aceleración del movimiento del terreno se aplica en un periodo de tiempo suficientemente largo como para que los esfuerzos inducidos se puedan considerar constantes. La fuerza se aplica sobre el centro de gravedad de la superficie de falla potencialmente deslizante, el cual se asumió como un criterio razonable y conservador (Terzaghi, 1950), pero la superficie se determinó bajo acciones estáticas, y puede diferir notablemente en condiciones dinámicas El aspecto más importante en un análisis de estabilidad de taludes pseudoestático es la selección apropiada del coeficiente sísmico ya que los resultados son fuertemente dependientes de su magnitud. Éste controla la fuerza actuando sobre el talud. Si el material del talud fuese rígido, la fuerza inercial inducida podría ser igual al producto de la aceleración real horizontal y la masa del material inestable. Esta fuerza inercial podría alcanzar su valor máximo cuando la aceleración sea máxima. Considerando que los taludes reales no son rígidos y que la

aceleración máxima se presenta en un tiempo infinitesimal, los coeficientes pseudoestáticos usados en la práctica corresponden a aceleraciones diferentes a la aceleración máxima en la base del talud.
La representación a través de una aceleración pseudoestática constante unidireccional de los efectos dinámicos de los movimientos sísmicos es evidentemente limitada y alejada de la física real del problema.
Algunas de estas limitaciones son las siguientes:
1. No es confiable en aquellos suelos en los que se generan presiones de poros altas durante el evento sísmico.
2. No tiene en cuenta que algunos suelos presentan degradación de la resistencia, hasta en un 15%, debido a carga sísmica. (García Aguilar, 2016)

4.2 *Método de Newmark (Método de bloques deslizantes)*

Nathan Newmark (1965) propuso su método para la determinar el deslizamiento permanente de un terraplén producido por la acción de un sismo. Para ello simuló el terraplén que se mueve como un bloque rígido-plástico deslizando sobre un plano inclinado, como se ilustra en la Fig. 6.

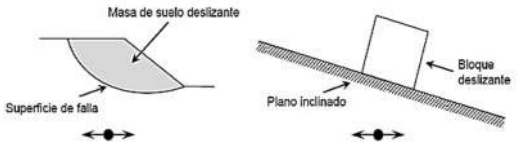


Figura 6. Analogía de Newmark, método del bloque deslizante, García Aguilar (2016).

Se define como aceleración de falla, aquella aceleración límite, que una vez superada producirá el deslizamiento del bloque; en otras palabras, la mínima aceleración del suelo requerida para superar la máxima resistencia del bloque deslizante.
En el método de Newmark, se calcula la aceleración de falla en función de un factor de seguridad estático y la geometría del talud. Cuando las aceleraciones debidas la onda sísmica exceden el valor, el bloque se mueve; el resto del tiempo el bloque permanece en reposo. De esta forma, se calcula la deformación acumulada durante el sismo.
Mediante la integración de las aceleraciones que sobrepasan la aceleración crítica se determinan en primer lugar las velocidades, y con la doble integración, los desplazamientos.
Las consideraciones generales del método son:
1. En el talud existen planos de debilidad bien definidos y el movimiento ocurrirá a lo largo de superficies específicas o planos, de manera similar a los supuestos en el análisis estático usual de estabilidad de taludes.
2. Existirán deformaciones permanentes sólo si el esfuerzo dinámico supera la resistencia al corte del talud.
3. Los deslizamientos ocurren “pendiente abajo”. La resistencia “pendiente arriba” se considera infinita y el bloque no se moverá en ese sentido, aunque se exceda la aceleración crítica.
4. La aceleración crítica se calcula mediante el método de equilibrio límite.
Resistencia al deslizamiento de un bloque de suelo o roca es función de su resistencia al corte bajo condiciones aplicables en un sismo. La magnitud de dicha resistencia depende del grado de desplazamiento que se produzca; sin embargo, para movilizar la resistencia al corte media en un talud no es necesario un gran desplazamiento. (García Aguilar, 2016).
Los métodos de bloques deslizantes se dividen en dos grupos principales, en función de los parámetros característicos del sismo a los que se hace referencia. Un grupo usa la máxima aceleración y velocidad horizontal del suelo, y el otro usa la máxima aceleración horizontal del suelo y el período predominante del espectro de aceleración. (Cai y Bathurst, 1996).
El desplazamiento sísmico calculado a partir de los procedimientos de tipo Newmark, ya sea que el procedimiento sea simplificado o avanzado, se considera apropiado como un índice del desempeño sísmico. Las estimaciones de desplazamiento sísmico siempre serán de naturaleza aproximada debido a las complejidades de la respuesta dinámica del suelo y la variabilidad del movimiento sísmico. Sin embargo, cuando se los considera como un índice de desempeño sísmico potencial, el desplazamiento sísmico calculado puede y ha sido usado efectivamente en la práctica para evaluar diseños de estructuras de tierra. (Ebrahimian, 2012).

4.3 *Análisis Dinámico*

Para llevar a cabo el análisis dinámico se utilizan actualmente diversos programas computacionales que incorporan técnicas numéricas.

El análisis de presas por elementos finitos inicia con la ingeniera soviética Faadeva, quien en 1958 propuso dividir la presa y el cimiento en elementos rectangulares. Dos años antes, el grupo de Turner en el MIT, habían desarrollado otro método aplicado a estructuras aeronáuticas, posteriormente adaptado a las presas por el grupo de Zienkiwicz y Cheung, en el año 1964. Todos estos métodos se fundamentan en la solución del problema de equilibrio de un elemento diferencial de volumen o sólido deformable, sobre el cual se examinan las fuerzas que actúan (Florez, 2011).

En este método, se considera el medio continuo como un conjunto de elementos discretos cuyas fronteras están definidas por puntos nodales, y supone que la respuesta del continuo puede ser descrita como una combinación de la respuesta de dichos puntos nodales. Los movimientos de estos nodos se pueden calcular mediante la ecuación de movimiento (1):

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = -[M]\{\ddot{u}_g\} \quad (1)$$

donde $[M]$ es la matriz global de masa, $[C]$ es la matriz global de amortiguamiento, $[K]$ es la matriz global de rigidez, $\{u\}$es el vector global de desplazamiento de los puntos nodales y $\{\ddot{u}_g\}$ es la historia de aceleración en la base. Para sistemas lineales esta ecuación puede resolverse por superposición modal, entre otros. Para realizar este tipo de análisis con mayor facilidad, debido al gran volumen de información que puede llegar a manejarse, se han desarrollado diversos programas de cálculo de uso comercial.

En general, los análisis dinámicos en el caso de las presas se realizan en dos etapas. El primer paso consiste en un análisis estático para determinar el campo de tensiones asociado a la configuración de geometría inicial, donde generalmente se simula la construcción por etapas, el proceso de consolidación y las redes de flujo para diferentes niveles de embalse. El segundo paso es el análisis dinámico propiamente dicho, esto es, la integración temporal paso a paso.

La solución en el tiempo del sistema de ecuaciones se puede plantear de dos maneras:

- Esquema de integración implícita: En cada paso de integración se debe resolver un sistema acoplado de ecuaciones que involucra los valores actuales y futuros de las variables. Esto es difícil de programar y costoso debido a las numerosas ecuaciones acopladas, generalmente hay que invertir matrices o iterar para converger a la solución. A cambio, esta integración temporal puede ser incondicionalmente estable, lo que permite avanzar con incrementos más grandes de tiempo.
- Esquema de integración explícita: Expresa los valores futuros de las variables como una función explícita de los actuales. Esto es más fácil de programar y resulta muy rápido avanzar un incremento de tiempo, pero requiere que ese incremento sea suficientemente pequeño para que la integración sea estable. Se dice que la integración es condicionalmente estable; cuando el incremento cumple la condición de Courant–Friedrichs–Lewy (CFL), que esencialmente limita el incremento de tiempo al período propio más pequeño del sistema. (Martí, 2021). Esta es una condición necesaria para la convergencia al resolver ciertas ecuaciones diferenciales parciales numéricamente; de lo contrario, la simulación produce resultados incorrectos. (Courant, et al., 1956).

El análisis dinámico explícito es computacionalmente eficiente para analizar la respuesta de modelos grandes en periodos cortos de tiempo. El procedimiento dinámico explícito permite procesar un gran número de pequeños incrementos de tiempo, usando la regla de la diferencia central. (Hibbit y Hibbit, 1996).

En este marco, el empleo de modelos numéricos y de técnicas de integración tiempo-historia permiten una detallada caracterización del comportamiento de estructuras geotécnicas frente a la solicitación sísmica, a la altura de los requisitos de seguridad exigidos actualmente por estándares internacionales. Sin embargo, el considerable tiempo de cálculo o costo computacional asociado a esta estrategia limitó el avance en esta dirección. Se debe tener presente que la simulación abarca no sólo el cuerpo de la presa propiamente dicho, sino que debe analizarse considerando la interacción con el suelo circundante (fundación) y en un entorno acoplado, que considere el desarrollo y la disipación del exceso de presiones intersticiales, utilizando formulaciones en términos de tensiones efectivas. A la complejidad del problema, se suma la necesidad de análisis no lineales para abarcar la pérdida de resistencia del suelo durante el sismo.

Por otra parte, los análisis dinámicos de tiempo-historia confiables, a menudo requieren de una importante cantidad de registros, que permitan

considerar la variabilidad observada en la respuesta. Para una determinada presa, no basta con analizar un único sismo, porque la propia selección del Sismo de Verificación trae aparejada una fuente importante de incertidumbre.

En las últimas décadas, se han desarrollado técnicas que permiten modificar los intervalos de tiempo de los registros de la excitación sísmica, los cuales se han aplicado con éxito al análisis de edificios de hormigón, puentes y silos (Soroushian et al., 2013). El método desarrollado por el Soroushian (2008), permite realizar la integración en el tiempo empleando pasos más grandes que los pasos de tiempo del registro de la excitación sísmica. Esta técnica, que permite reducir el tiempo de cálculo en el análisis sísmico de presas de materiales sueltos, fue probada para evaluar un sistema estructural de puente y un silo convencional de acero. Los resultados numéricos mostraron que se logra una reducción considerable del costo computacional sin pérdida significativa de precisión.

5. CONCLUSIONES

Mundialmente, la evaluación de la seguridad de presas está migrando de un enfoque que tradicionalmente fue determinístico, a una concepción probabilista del riesgo, dirigido tanto a la amenaza como al estado de las estructuras y a las posibles consecuencias de una falla asociadas a un determinado escenario. Sin embargo, en Argentina, si bien se avanzó en materia de seguridad al crear organismos reguladores y redactar legislación específica, hay importantes carencias en el desarrollo de métodos de evaluación sísmica, inspección y mantenimiento de presas, y no existen hasta el presente procedimientos confiables, estandarizados y eficientes que permitan definir el estado actual de vulnerabilidad de presas, esenciales para el desarrollo económico de las regiones y cuyo impacto en caso de rotura tendría consecuencias catastróficas.

Los métodos más antiguos para evaluar la respuesta sísmica de presas de materiales sueltos, no permitían reproducir ni explicar los efectos observados en el estudio de numerosos casos, como ser la aparición de fisuras y los importantes asentamientos registrados. La aparición del método de elementos finitos y su evolución, junto con el desarrollo de modelos constitutivos complejos, puedo resolver esas falencias.

El empleo de modelos numéricos y de análisis dinámicos con técnicas de integración tiempo-historia permite una detallada caracterización del comportamiento de estructuras geotécnicas frente a solicitaciones sísmicas. Sin embargo, el considerable tiempo de cálculo o costo computacional asociado a un enfoque probabilístico del riesgo, es todavía un aspecto a resolver.

En análisis de la seguridad de presas deberá dirigirse a las posibles consecuencias de una falla, así como a las características y estado de las estructuras. (Giuliani, 2006). Es un tema de constante preocupación y desarrollo, en función de exigencias cada vez mayores de la sociedad. Con los años mejoraron fuertemente los criterios de seguridad aplicados al proyecto y la construcción, así como a los sistemas operativos, la auscultación y el control de las obras, a la vez que se incorporaron previsiones para situaciones de emergencias. Por otra parte, se avanzó con legislación específica y se crearon organismos reguladores y de fiscalización. La aprobación y puesta en vigencia de esta Ley es de fundamental importancia para conocer la situación de cada aprovechamiento y proceder, si fuera necesario, con la actualización de las condiciones de seguridad. Se debe garantizar, además, la revisión periódica y permanente del estado de todas las presas.

Actualmente, se dispone de herramientas que permiten hacer modelos numéricos representativos de las infraestructuras. Por otra parte, la acción sísmica puede representarse mediante historias temporales de aceleración, correspondientes a sismos reales registrados, o mediante acelerogramas sintéticos, simulados o híbridos (Pujades, et al., 2021). Sofisticados programas de análisis dinámico no lineal permiten seguir y analizar, paso a paso, la respuesta dinámica de las estructuras. Debemos resaltar que a pesar del progreso de la capacidad de los ordenadores modernos es sumamente costoso abordar un análisis probabilístico de riesgo sísmico.

6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue desarrollado por el primer autor en el marco de una Beca Estudiantil CIUNT financiada por la Secretaría de Arte, Ciencia e

Innovación Productiva de la Universidad Nacional de Tucumán.

7. REFERENCIAS

Ambraseys, N.N. (1960). The Seismic Stability of Earth Dams, Proceedings of the Second World Conference on Earthquake Engineering, pp. 1345–1363, Tokyo, Japan

Cai, Z., Bathurst, R.J. (1996). Deterministic sliding block methods for estimating seismic displacements of earth structures. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering,* 15(4), 255-268. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0267726195000488

Capitanelli, R. G. (1970). Causas de la destrucción del Dique Frías y bases para nuevos sistemas de defensas. *Boletín de Estudios Geográficos*, 17(67). pp 69. http://bdigital.uncu.edu.ar/11083

Dalmati, R. (2018) El Proyecto de Ley de Seguridad de Presas. ORSEP. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/02_-_rodolfo_dalmati_-_proyecto_ley_de_seguridad_de_presas.pdf

Ebrahimian, B. (2012).*Non-Linear Numerical Analysis of Earthquake- Induced Deformation of Earth-Fill Dams*. UniversityofTehran – Iran. ResearchGate. Recuperado el 12 de abril de 2023 de https://www.researchgate.net/publication/221924482

Florez G. (2011). Análisis contra el tiempo para presas mediante implementación numérica usando elementos finitos. *Revista Ecomatematica, UFPS*, 2 (1), 4-10. https://1library.co/document/z31r6w9y-analisis-tiempo-presas-mediante-implementacion-numerica-elementos-finitos.html

García Aguilar, G. (2016). Análisis sísmico de presas de tierra y enrocamiento. [Tesis de maestria, Universidad Nacional Autónoma de México UNAM]. Repositorio Facultad de Ingeniería.

Giuliani, F. (25 de septiembre de 2006). *Enfoque sistémico de la seguridad de presas.* Universidad Nacional de Colombia. Recuperado el día 27 de abril de 2023 de http://www.disi.unal.edu.co/~lctorress/PSist/PenSis37.pdf

Giuliani, F., Baylac, M. (2007). *Gestión de Riesgo en Presas y Emergencias Hídricas.* Biblioteca Digital de Agrimensura. Recuperado el día 19 de abril de 2023 de http://www.bibliotecacpa.org.ar/greenstone/collect/otragr/index/assoc/hash01c4.dir/doc.pdf

Hibbit, K., Hibbit, S. (1996). *Abaqus Estándar User´s Manual Ver.5.6*. HKS. index.php/EA/article/view/86

Instituto Nacional de Prevención Sísmica – INPRES (2012). *Sismicidad en Argentina.* Contenidos INPRES. Recuperado el 04 de abril de 2023 de http://contenidos.inpres.gob.ar/sismologia/sismicidad

Instituto Nacional de Prevención Sísmica – INPRES.(2018). *Reglamento Argentino para construcciones Sismorresistentes. Parte I. Construcciones en General.* INTI.

Instituto Nacional de Prevención Sísmica – INPRES. (2023). *Últimos sismos determinados por el INPRES*. Contenidos INPRES. Recuperado el 07 de abril de 2023 de http://contenidos.inpres.gob.ar/sismologia/xultimos.

International Commission on Large Dams. (02 de abril de 2020). *Síntesis General del Registro Mundial de Presas. Tipología de presas.* ICOLD-CIGB. Recuperado el 02 de abril de 2023 de https://www.icold-cigb.org/GB/world_register/general_synthesis.asp

Juncal, S. (2019). La regulación y el control de la seguridad de presas en la Argentina. *Estado Abierto. Revista Sobre El Estado, La Administración Y Las Políticas Públicas*, *3*(2), pp. 117-151. https://publicaciones.inap.gob.ar/

Martí, J. (11 de agosto de 2021). *Análisis de elementos finitos: esquemas implícito y explícito*. Principia. Recuperado el 12 de abril de 2023 de https://principia.es/analisis-de-elementos-finitos-esquemas-implicito-y-explicito/

Organismo Regulador de Presas (20 de octubre de 2020). *Inventario de Presas Argentinas*. ORSEP. Recuperado el 02 de abril de 2023 de https://drive.google.com/file/d/1Pi0AIAiBjFMTXD9SmtZfOXhPwQX30RD2/view.

Organismo Regulador de Seguridad de Presas – ORSEP (20 de marzo de 2018). *Lineamientos de Seguridad de Presas.* Argentina. Recuperado el 07 de abril de 2023 de: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/orseplineamientos_de_seguridad_de_presas.pdf

Pujades LG, Lantada N, González-Drigo R, Blázquez A, Meza K. (2021). Guía para la

evaluación de la vulnerabilidad sísmica. *Por una cultura común del riesgo sísmico.* 4 (1). 2-3.https://pocrisc.eu/sites/default/files/documents/e4_2_1_guia_eval_vuln_2022_03_24.pdf

R. Courant, K.Friedrichs, H. Lewy. (1956). *On the partial difference equations of mathematical physics.* AEC Computing and Applied Mathematics Centre.

Shan D., López-Almansa F., Ledesma, A. (2019). *Calibración con cálculos dinámicos no lineales del método de Newmark para análisis de estabilidad sísmica de laderas*. UPCommons. Recuperado el 12 de abril de 2023 de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/189553/Shan%20(3).pdf

Soroushian, A., Vasseghi, A., Hosseini, M. (2013). On Practical Performance of a Technique for More Efficient Dynamic Analysis in View of Real Seismic Analysis of Bridge Structures. *In Computational Methods in Earthquake Engineering.* 2, 613-634. https://www.researchgate.net/publication/286567811_Computational_Methods_in_Earthquake_Engineering_-_Vol_2

Soroushian, A. (2008). *A technique for time integration analysis with steps larger than the excitation steps*. Communications in Numerical Methods in Engineering, 24, 2087–2111. DOI: 10.1002/cnm.1097

Wieland M. (2009). *The many features of the seismic hazard in large dam projects and strong motion monitoring of large dams, Proc. 2nd Int. Conf. on Long-term Behaviour of Dams* , Graz, Austria. Link Springer. Recuperado el 12 de abril de 2023 de https://link.springer.com/article/10.1007/s11709-010-0005-6

Repositorio institucional de acceso abierto de la FTyCA-UNCA en apoyo a la ciencia abierta

Doria, Maria Vanesa[1]; Flores, Carola Victoria[1]; Haustein, Maria Carolina [1]; Póliche, Maria Valeria[1]; Cruz, Ruth Johana Nahir[1]

(1) Facultad de Tecnología y CienciasAplicadas, Universidad Nacional de Catamarca.

vanesadoria@tecno.unca.edu.ar; carolaflores@tecno.unca.edu.ar, caro-h@tecno.unca.edu.ar, vpoliche@tecno.unca.edu.ar; ruthjncruz21@gmail.com

RESUMEN

La ciencia abierta sostiene que la producción científica y tecnológica debe ser accesible para todas las personas, lo que implica ponerla a disposición en acceso abierto, en especial si esos conocimientos científicos son resultados financiados con fondos públicos. En este contexto, las universidades están alineadas con la ciencia abierta, ya que tienen entre sus objetivos la producción académica, científica y tecnológica, la cual debe ser gestionada y puesta a disposición para su acceso por la sociedad. Una herramienta que permite gestionar, acceder y visibilizar esa producción son los repositorios digitales en acceso abierto, que apoyan la apertura de la ciencia a la luz del nuevo contexto planteado por la UNESCO en cuanto a la recomendación de ciencia abierta realizada en el año 2021. El propósito del trabajo es presentar y difundir el Repositorio Institucional de Acceso Abierto de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca, en apoyo a la ciencia abierta recomendada por la UNESCO, con el objetivo de ampliar el panorama y los conocimientos con respecto a repositorios digitales de acceso abierto en carreras de ingeniería.

ABSTRACT

Open science maintains that scientific and technological production must be accessible to all people, which implies making it available in open access, especially if that scientific knowledge is results financed with public funds. In this context, universities are aligned with open science, since they have academic, scientific and technological production among their objectives, which must be managed and made available for access by society. A tool that makes it possible to manage, access and make visible this production are the open access digital repositories, which support the opening of science in light of the new context proposed by UNESCO in terms of the open science recommendation made in 2021. The purpose of this work is to present and disseminate the Open Access Institutional Repository of the Faculty of Technology and Applied Sciences of the National University of Catamarca, in support of open science recommended by UNESCO, with the aim of expanding the panorama and the knowledge regarding open access digital repositories in engineering careers.

Palabras Clave: ciencia abierta – acceso abierto – repositorio institucional

Keywords: open science – open access – institutional repository

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, las sociedades de hoy se apoyan en el intercambio, generación y recreación de todo tipo de información. Las instituciones universitarias, no son ajenas a esta realidad.En ellas se genera gran cantidad de información como resultado de investigaciones, actividades académicas y tecnológicas, entre otras.

La región de Iberoamérica lleva más de 10 años trabajando en fomentar la ciencia abierta y promover el acceso a las investigaciones financiadas con fondos públicos, en universidades y centros de investigación, creando políticas e iniciativas de acceso abierto (Babini y Rovelli, 2020).

Para conocer cuáles son las políticas e iniciativas en América Latina, la Biblioteca de la Comisión Económica de América Latina y el Caribe pone a disposición un listado con todas las normativas de Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, México y Perú; el cual puede accederse a través del siguiente link: https://biblioguias.cepal.org/c.php?g=495473&p=8023738

A continuación, el trabajo se organiza en las siguientes secciones: marco teórico, metodología, caso del repositorio institucional de la FTyCA y las conclusiones.

2 MARCO TEÓRICO

El marco teórico está basado en la revisión de la literatura, recortada en la temática de ciencia abierta, acceso abierto y repositorios digitales, presentando la conceptualización sobre ciencia abierta ampliamente reconocida y que se encuentra en las recomendaciones de la UNESCO, luego se presenta el componente acceso abierto en el contexto de las universidades y contenido sobre repositorios digitales.

Para los fines de este trabajo, se presenta un recorrido de la base conceptual de los repositorios digitales desde lo general a partir de la definición de la real academia española, a lo particular con la de definición de repositorios en el ámbito informático aportada por algunos autores que trabajan en la temática, para luego describir brevemente los tipos de repositorios existentes y presentar el marco legal en argentina respecto a los repositorios institucionales.

2.1 *Ciencia abierta*

UNESCO define la ciencia abierta como: “un constructo inclusivo que combina diversos movimientos y prácticas con el fin de que los conocimientos científicos multilingües estén abiertamente disponibles y sean accesibles para todos, así como reutilizables por todos, se incrementen las colaboraciones científicas y el intercambio de información en beneficio de la ciencia y la sociedad, y se abran los procesos de creación, evaluación y comunicación de los conocimientos científicos a los agentes sociales más allá de la comunidad científica tradicional”(UNESCO, 2021, p 7).

En esta definición, cuando se señala que los conocimientos científicos deben ser abiertos, se refiere al acceso abierto (AA), como un componente a favor del acceso a la información científica mediante 3 iniciativas bases:

- Budapest Open Access Initiative (BOAI, 2002); en la cual se recomiendan las estrategias de publicación de la producción científica y académica a través de revistas, conocida como vía dorada y repositorios digitales, conocida como vía verde.
- Bethesda Statementon Open Access Publishing (Bethesda, 2003); en cual se especifican dos condiciones que deben cumplir las publicaciones:
    1. El/los autor/es y el/los propietario/s de los derechos de propiedad intelectual otorgan a los usuarios un derecho libre, irrevocable, universal y perpetuo de uso de la publicación a través de una licencia que establece los permisos referidos a: copiar, utilizar, distribuir, transmitir, distribuir obras derivadas y presentar el trabajo públicamente, en cualquier soporte digital, sujeto a la apropiada atribución de la autoría.
    2. Una versión completa de la publicación y todos los materiales complementarios, incluyendo una copia de los permisos citados anteriormente, en un formato electrónico estándar apropiado se depositará de forma inmediata a la publicación inicial en al menos un repositorio en línea apoyado por una institución académica, una sociedad de intelectuales, una agencia gubernamental, o cualquier otra

organización debidamente establecida que persiga facilitar el acceso abierto.

- BerlinDeclarationon Open Access toKnowledge in theSciences and Humanities (Berlín, 2003); en concordancia con el espíritu de la Declaración de la Iniciativa sobre Acceso Abierto de Budapest y la Declaración de Bethesda sobre Publicación para Acceso Abierto; se define al Acceso Abierto como la disponibilidad gratuita en Internet de la literatura científica a texto completo, para que cualquier usuario pueda leer, descargar, copiar, distribuir o imprimir o cualquier otro propósito legítimo, sin más barreras financieras, legales o técnicas que aquellas que supongan acceder a Internet. El único límite a la reproducción y distribución de la literatura científica, es garantizar a los autores el control sobre la integridad de su trabajo y el derecho a ser reconocido y citado.

En este contexto, las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) están erigiendo grandes oportunidades para facilitar, expandir y acelerar los procesos de democratización del conocimiento generado por la producción científica (datos de investigación, publicaciones, recursos educativos, etc.) a través de las estrategias propuestas por las iniciativas del AA.

2.2 *Las universidades y el acceso abierto*

Las universidades se encuentran en un momento histórico en el que se replantean cómo acompañar los cambios que suceden a partir de una sociedad cuya base es el intercambio de información a través de las herramientas TIC difundidas a través de Internet, como lo son repositorios digitales de AA, bibliotecas digitales, revistas científicas, buscadores, directorios y portales de información.
De las herramientas mencionadas anteriormente, este trabajo se enfoca en el tipo conocido como repositorios institucionales (RI) digitales de AA que tienen gran importancia e impacto en el acceso a la información académica, científica y en el uso que se hace de ella (Delgado, 2017).
En relación a lo expuesto anteriormente, en este trabajo se presentará una base conceptual relacionada con los repositorios digitales. Seguidamente, se presenta el marco legal en Argentina para la creación de RI de AA; en otro apartado se describe el RIAA de la FTyCA. Finalmente, se presentan las conclusiones del trabajo.

2.3 *Repositorios digitales*

Los repositorios digitales (RD) son herramientas TIC confiables para el resguardo, clasificación, recuperación y difusión de la información. A continuación, se presenta un conjunto de conceptos y proposiciones que constituyen la base conceptual del trabajo.

2.3.1 Base Conceptual

El Diccionario de la Real Academia define un repositorio como “lugar donde se guarda algo”. Ese concepto se aplicó al léxico específico de la informática para designar los repositorios de información digital que constituyen una colección de producciones intelectuales de carácter científico o académico, que se encuentran accesibles a los usuarios.
En el ámbito de la informática, se encuentran los siguientes conceptos de RD:

- Para Chazarra, Requena y Valverde (2010) un RD es una herramienta tecnológica disponible en internet, para almacenar, controlar y facilitar el acceso a la información dispuesta en contenidos digitales, desde cualquier lugar del mundo.
- Galina (2011) expresa que un RD es una infraestructura digital esencial para que los académicos puedan manejar, administrar, diseminar y preservar sus contenidos digitales.
- De Giusti, Lira, Oviedo, Villarreal y Texier (2012) señalan que los RD son una infraestructura web destinada a recopilar, gestionar, difundir y preservar contenidos a través de una colección organizada a una comunidad y que debe estar provista de facilidades que le permiten interoperar con otros repositorios similares.
- Polanco-Cortés (2014) los define como un medio para gestionar, almacenar, preservar, difundir y facilitar el acceso a los objetos digitales que aloja.

2.3.2 Tipos de Repositorios Digitales

El éxito de los RD ha dado como resultado repositorios de diferentes tipos (Sanchez, Mariño, 2021):

- Repositorios institucionales: almacenan, preservan y distribuyen la producción intelectual de los miembros de una institución.Pueden contener solamente la producción intelectual/científica, o reunir también colecciones especiales, tales como, documentación administrativa.
- Repositorios temáticos: almacenan, preservan y distribuyen producciones de una disciplina o área temática. Pueden ser creados y mantenidos por instituciones académicas o de investigación, o bien por organismos gubernamentales.
- Repositorios de datos: almacenan, preservan y distribuyen datos científicos generados en el proceso de investigación.Pueden estar integrados en un RI o existen como repositorios independientes.
- Repositorios huérfanos: permiten el depósito de trabajo de autores que no tienen acceso a otro repositorio (institucional o temático). En general, son establecidos a nivel nacional.

Texier (2013) considera, además, otros tipos de repositorios:

- Repositorios de documentos administrativos: gestionan los documentos administrativos de la institución.También pueden estar integrados en un RI o existen como repositorios independientes.
- Repositorios de objetos de aprendizaje: gestionan recursos para apoyar el proceso de enseñanza y aprendizaje.
- Repositorios multimedia: contienen materiales de audio, videos, etc.
- Repositorios de tesis y disertaciones: solo administran ese tipo de material.

2.4 *Situación Argentina para la ciencia abierta y los repositorios institucionales*

2.4.1 Ciencia Abierta en Argentina

En el año 2021, la Secretaría de Articulación Científico Tecnológica del MINCyT creó el Comité Asesor en Ciencia Abierta y Ciudadana que ha elaborado el documento Diagnóstico y lineamientos para una política nacional de Ciencia Abierta en Argentina, en el nuevo contexto planteado por la Recomendación de UNESCO (2021). El documento contiene líneas de acción centradas en: (1) la publicación en acceso abierto; (2) los libros en acceso abierto; (3) los datos primarios de investigación, software y código en acceso abierto; (4) la ciencia ciudadana y participativa; (5) las infraestructuras abiertas y colaborativas; (6) los incentivos para la ciencia abierta; y (7) el monitoreo de la ciencia abierta.

2.4.2 Creación de Repositorios Digitales

Los RI en Argentina siguen el modelo de AA contemplado en la Ley 26.899, Repositorios digitales institucionales de acceso abierto, sancionada en el 2013. Este marco legal es un esfuerzo de los referentes de los distintos repositorios del país, el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MINCYT) Productiva es la entidad responsable de hacer cumplir esta ley, para ello creó en el 2011 el Sistema Nacional de Repositorios Digitales (SNRD). Con esta ley se busca que los investigadores e instituciones científicas y universidades pongan a disposición de la sociedad todo tipo de producción científica, tecnológica, académica y datos primarios de investigación, a través de repositorios digitales de acceso abierto.De esta manera se contribuye con la ciencia abierta, tanto a nivel nacional como internacional.

En el 2016, se estableció la Resolución E 753 que reglamenta la ley y deja al SNRD como instrumento técnico-operativo para el cumplimiento de las responsabilidades del ministerio emanadas de la mencionada ley.

La Ley y su reglamento de desarrollo establecen que los plazos otorgados para el depósito y disponibilidad pública en acceso abierto de las producciones científicas no excederán los 6 (seis) meses desde la fecha de su publicación oficial o de su aprobación por una autoridad competente y para los datos primarios.Se establece que estén disponibles públicamente dentro de los 5 (cinco) años contados desde el momento de su recolección.Igualmente, cada institución puede recomendar o exigir a sus estudiantes y personal investigador el depósito inmediato en el repositorio de los metadatos de su producción y de los datos de investigación, y a dar acceso a texto completo o a los datos recogidos en plazos menores a los establecidos por la Ley.

El reglamento otorga al MINCyT las funciones de promoción, consolidación, articulación y difusión de los repositorios digitales institucionales y temáticos de ciencia y tecnología, la responsabilidad de establecer los estándares de interoperabilidad y las directrices técnicas de preservación digital que deberán adoptar los

repositorios, así como las tareas de asistencia técnica requeridas para implementarlos (Comisión Europea, 2023).

3 METODOLOGÍA

La metodología empleada consta de las siguientes fases:

- Revisión bibliográfica: Dada que la bibliografía en ciencia abierta, acceso abierto y repositorios digitales, es muy amplia se realizó un recorrido bibliográfico a los efectos de seleccionar autores referentes en la tematica.
- Análisis de la politica Argentina en ciencia abierta y específicamente en el componente acceso abierto.
- Presentación del Repositorio Institucional de Acceso Abierto (RIAA) de la FTyCA
- Descripciónde estrategias realizadas para difundir el RIAA en la sociedad.

4 REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE ACCESO ABIERTO (RIAA) - FTYCA

En la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca, en el año 2016 se contó con un prototipo de Repositorio Digital en Ingeniería de Software (RIS) del Departamento de Informática de la FTyCA, como producto de la Tesis de Maestría de la Mgtr. Maria Vanesa Doria (Doria, Montejano, & Flores, 2016) (Doria, y otros, 2017) (Doria, M. (2016).En consecuencia, se crea la Comisión de Gestión de Repositorios Digitales de Acceso Abierto mediante resolución CD FTyCA 293/2016.Ante el auge de RI en el marco de la ley 26.899, se evidenció la necesidad de la construcción del repositorio institucional, considerando que el acceso a la información libre y gratuita es la clave para compartir conocimientos. A tal efecto, la comisión se encargó de la reingeniería de software necesaria para modificar el repositorio temático y convertirlo en el repositorio institucional de acceso abierto de toda la Facultad.

En cuanto al diseño, se definió una comunidad principal para la Facultad que cuenta con subcomunidades que representan cada Departamento. Esto posibilitó agrupar y organizar las producciones de acuerdo a las temáticas afines a cada carrera, facilitando la administración de las producciones (trabajos finales de grado y posgrado, artículos, documentos de eventos). También se agregó una colección llamada recursos abiertos, que contiene una selección de objetos digitales, bajo un concepto temático transversal, útil para el público en general y la comunidad educativa. Además, cuenta con otra comunidad especial para las ediciones de la Revista de Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA.

4.1 Herramientas utilizadas en el RIAA

Con respecto a la elección de las plataformas tecnológicas, se optó por el uso de software libre y de código abierto para evitar o reducir costos. Esta decisión representa una gran ventaja para las universidades públicas que, en general, no cuentan con suficiente presupuesto para costear estos tipos de gastos. Es por ello que se seleccionó:

- DSpace es la plataforma de gestión más utilizada a nivel nacional e internacional, según las estadísticas en el directorio internacional openDOAR.
- Matomo, para la gestión de estadísticas de uso, tiene la ventaja de que los datos se almacenan en un servidor propio, lo que permite el control total sobre los datos. Además, las estadísticas de uso obtenidas son más precisas comparadas con otras herramientas. La importancia de contar con información sobre estadística de uso, permite a las autoridades cuantificar la realidad del RIAA y tomar decisiones sobre la funcionalidad, contenido, y estrategias para aumentar la visibilidad/posicionamiento del RIAA. Algunos ejemplos de estadísticas de uso son: cantidad de accesos a un recurso o colección, documentos más descargados, cantidad de descargas por autor, cantidad de accesos a los recursos de una colección, distribución de accesos por origen (continente/país/ciudad), tasa de accesos por fecha, fechas con mayor cantidad de accesos, entre otros.
- Como modelo de metadatos se utilizó Dublin Core para que las producciones pudieran ser cosechadas por las redes de repositorios.

4.2 *Marco regulatorio institucional del RIAA*

La Comisión de Gestión de Repositorios Digitales de Acceso Abierto se encargó también de

elaborar un instrumento que define el marco regulatorio que contempla los procedimientos para la gestión de la producción generada en la FTyCA – UNCA mediante el RIAA, que fue aprobado mediante la ORD. CD 005/2021. Este instrumento está estructurado en:

- Misión, fines y objetivos.
- Estructura administrativa de la Comisión.
- Políticas de AA:
  - Política de contenidos
  - Política de metadatos
  - Política de depósito
  - Política de edición y eliminación de registros
  - Política de licencia y derechos de autor
  - Política de acceso
  - Política de preservación digital
  - Política de estadísticas
  - Política de privacidad de datos
  - Política de servicios

Actualmente, el RIAA se encuentra registrado en directorios internacionales, a saber: openDOAR, ROAR, DSpace y en como recurso abierto en la Biblioteca Electrónica de Ciencia y Tecnología del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación.

Desde el 21 de diciembre del 2022 cuenta con la RESOL-2022-2853-APN-SACT#MCT de adhesión provisoria al SNRD y actualmente se están realizando las pruebas para formar parte del portal.

4.3 *Estrategias de visibilidad del RIAA*

En sintonía con la ciencia abierta y el acceso abierto, las estrategias llevadas a cabo para acercar el repositorio tanto a la comunidad de la FTyCA como a la sociedad son las siguientes:

- Registro en directorio: el repositorio actualmente es cosechado por los directorios openDOAR, ROAR y DSpace, a través de la siguiente dirección web: https://riaa-tecno.unca.edu.ar/
- Comunicación: Para estar en contacto con otros integrantes de la comunidad de la Universidad Nacional de Catamarca se cuenta con un grupo de whatsapp donde se comparten actividades y noticias, cursos, webinars, eventos sobre la ciencia abierta, acceso abierto y actividades específicas del RIAA, Whatsapp: https://bit.ly/3MPwcBP. También se realiza comunicación con la cuenta institucional del repositorio.
- Sitios web: Para dar a conocer a la sociedad sobre el RIAA, noticias, cursos y actividades específicas se cuenta con:
  - Blog: https://bit.ly/RIAA_Blog
  - Facebook: https://bit.ly/novedadesAA
  - WIKI https://es.wikipedia.org/wiki/RIAA-TECNO

Desde el 2019, la Comisión de Gestión de Repositorios Digitales de Acceso Abierto de la FTyCA participa en la semana internacional de acceso abierto, en el que cada año el Comité Asesor de la Semana del Acceso Abierto, plantea un tema para generar conciencia sobre la importancia del control comunitario de los sistemas de intercambio de conocimientos. La Semana del Acceso Abierto se celebra la última semana de octubre. A continuación se mencionan las actividades organizadas en cada año y el tema abordado:

- 2019 - ¿Abierto para quién? Equidad en el conocimiento. Se realizaron flyer impresos con tips que fueron colocados en los transparentes de la facultad.
- 2020 - Abrir con propósito: Emprender acciones para construir equidad e inclusión estructural. Se realizaron webinars que fueron transmitidos por el canal de youtubehttps://bit.ly/canalRIAA, con referentes invitados como Ana Sanllorenti de Argentina y Joel Torres de México.
- 2021 - Importa cómo abrimos el conocimiento: Construyendo equidad estructural. Se realizaron píldoras informativas, integrantes de la Comisión de Gestión de Repositorios Digitales de Acceso Abierto y también participó Marisa De Giusti referente en el tema, transmitidas por el canal de youtubehttps://bit.ly/canalRIAA.
- 2022 – Abrir por la justicia climática. Se llevaron a cabo eco-actividades virtuales y presenciales. Dentro de las eco actividades virtuales, se generó una galería virtual compartida en el Blog del repositorio, videos cortos en el canal de YouTube https://bit.ly/canalRIAA. Como eco actividades presenciales, se realizó un café científico con investigadores, docentes, alumnos y organismos del estado provincial para debatir sobre la temática. También se dieron charlas de sensibilización para la comunidad universitaria sobre basura

electrónica. Charla sobre Reduce, Recicla y Reusa para niños de la Escuela Preniversitaria Fray Mamerto Esquiú. Estas charlas estuvieron co-organizadas con el Centro de Gestión Integral de Residuos desde el Origen (GIRO) perteneciente a la Secretaría de Ambiente y Espacios Públicos del gobierno de la Provincia de Catamarca.

5 CONCLUSIONES

La ciencia abierta es un concepto plural en el cual las políticas de acceso abierto, nacionales e internacionales, están ubicadas como estrategias que buscan un cambio cultural en la que intervienen todos los actores involucrados en la generación de la ciencia: quién la financia, quién la ejecuta y quien la difunde. Las universidades como generadoras de conocimientos académicos, científicos y tecnológicos, juegan un papel importante en esta transformación cultural que promueve la ciencia abierta.

La ciencia abierta tiene como objetivo facilitar el acceso a las investigaciones y promueve la participación de la sociedad en busca de intercambio de información en beneficio de un conocimiento científico que es discutido, mejorado o refutado. Por lo tanto, a 20 años del acceso abierto, éste se presenta como una estrategia importante en el apoyo a la ciencia abierta, porque ofrece una serie de beneficios, que se pueden resumir de la siguiente manera:

- Para los autores, mayor visibilidad e impacto de sus trabajos; más citaciones; con el respectivo resguardo de sus derechos de autor; la conservación digital de sus publicaciones; y legitimidad de su obra a nivel local, nacional e internacional.
- Para las universidades representa una oportunidad de incrementar la visibilidad y el impacto de su producción académica, científica y tecnológica; garantiza la preservación electrónica de los resultados de la investigación a largo plazo. Y permite visibilizar y rendir cuentas a la sociedad de la inversión pública realizada en investigación, en cumplimiento con la reglamentación de la Ley 26.899.
- Para la sociedad, este modelo facilita el acceso al conocimiento y su reutilización en beneficio de todos y otorga visibilidad a la inversión pública en ciencia.

En la FTyCA con la creación de la Comisión de Gestión de Repositorios Digitales de AA se trabaja continuamente para estar en sintonía con la ciencia abierta, a partir de generar las distintas normativas para la implementación del RIAA, además sus miembros se capacitan continuamente para la mejora permanente del mismo.

El RIAA es una herramienta importante para la gestión de los materiales producidos en el ciclo de vida de una investigación, los materiales resultantes de actividades académicas y materiales que pueden servir a la sociedad, ya que son fácilmente localizables a través de los buscadores.

Las estrategias de visibilidad implementadas por la Comisión RIAA han desempeñado un papel fundamental en la difusión de la ciencia abierta y la democratización del conocimiento. Estas acciones han permitido que tanto la comunidad académica como la sociedad en general tomen conciencia sobre la importancia de difundir y acceder al conocimiento, impulsando así el avance de la ciencia en diversas áreas de estudio.

El acceso a la investigación existente proporciona una base sólida para la continua generación de conocimiento, y es en este contexto donde el empleo de repositorios de acceso abierto cobra relevancia. Estos repositorios promueven la colaboración, la inspiración y el progreso en el ámbito de la ciencia abierta, al facilitar la disponibilidad de información vital para investigadores y académicos.

Es también digno de mención que la Comisión del RIAA ha ampliado sus esfuerzos más allá de la simple visibilidad, ya que actualmente está llevando a cabo cursos de posgrado sobre esta temática. Esta iniciativa refleja su compromiso con la educación y la formación en el campo de la ciencia abierta, contribuyendo aún más al avance de esta área de conocimiento.

Para finalizar, como afirma De Giusti (2021) los repositorios de acceso abierto son un espacio institucional donde las producciones encuentran su raíz y su pertenencia.

6 REFERENCIAS

Babini, D. y Rovelli, L. (2020). Tendencias recientes en las políticas científicasde ciencia abierta y acceso abierto en Iberoamérica. Buenos Aires,Argentina: CLACSO. Recuperado el 03/082023

dehttp://biblioteca.clacso.edu.ar/clacso/se/20201120010908/CienciaAbierta.pdf

Boukacem-Zeghmouri, C. (2021). Ideas: La ciencia abierta, una utopía que gana terreno. El Correo de la UNESCO, 2021(4), 40-43.

Berlín (2003) Recuperado el 01/04/2023 de http://www.geotropico.org/1_2_documentos_berlin.html

Bethesda (2003) Recuperado el 01/04/2023 de http://ictlogy.net/articles/bethesda_es.html

BOAI (2002), Recuperado el 01/04/2023 de www.soros.org/openaccess/read.shtml

Comisión Europea (2023), Dirección General de Investigación e Innovación, Políticas de acceso abierto en América Latina, el Caribe y la Unión Europea : avances para un diálogo político, Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, 2023, Recuperado el 01/04/2023 de https://data.europa.eu/doi/10.2777/162

Chazarra, J., Requena, V. M., & Valverde, S. (2010). Desarrollo de un repositorio de objetos de aprendizaje usando DSpace. Recuperado el 01/04/2023 de http://eprints. ucm. es/11078/1/MemoriaSI. pdf.

Delgado, J. C. S., & Alvarado, M. A. C. (2017). Repositorios institucionales digitales: análisis comparativo entre SEDICI (Argentina) y Kérwá (Costa Rica). E-Ciencias de la Información, 1-32. Recuperado el 01/04/2023 de https://www.scielo.sa.cr/pdf/eci/v7n1/1659-4142-eci-7-01-00005.pdf

de Giusti, M. (2021). Píldora informativa: Ciencia Abierta y Repositorios un mundo de posibilidades. Recuperado el 01/04/2023 de https://riaa-tecno.unca.edu.ar/handle/123456789/406

De Giusti, M. R., Lira, A. J., Oviedo, N. F., Villarreal, G. L., y Texier, J. (2012). Las actividades y el planeamiento de la preservación en un repositorio institucional. Ponencia presentada en el BIREDIAL: Conferencia Internacional Acceso Abierto, Comunicación Científica y Preservación Digital, Colombia. Recuperado el 01/04/2023 de http://hdl.handle.net/10915/26045

Doria, M. (2016). Tesis de Maestría, "Modelo de un Repositorio en Ingeniería de Software para la Facultad de Tecnología y Cs. Aplicadas de la UNCA". Catamarca: Editorial Científica Universitaria de la UNCA, ISBN 978-987-661-215-9 (Edición electrónica).

Doria, Montejano, & Flores, 2016 - /Doria, M. V., Montejano, G. A., & Flores, C. V. (2016). Repositorio Temático para la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca. Aspectos Técnicos a considerar. Memorias CoNaIISI'2016 - 4er Congreso Nacional de Ingeniería Informática /Sistemas de Información. Salta: ISSN 2347-0372 – Publicación on line.

Doria, M. V., Haustein, M. C., Lazarte, I. M., Flores, C. V., Moreno, J. P., Korzeniewski, M. I., . . . Montejano, G. A. (2017). Repositorio Temático de Acceso Abierto para el Departamento de Informática de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas - UNCA. Libro de Resúmenes XII Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facutlades de Ingeniería del NOA, (pág. 91).

Galina, I. (2011). La visibilidad de los recursos académicos. Una revisión crítica del papel de los repositorios institucionales y el acceso abierto. Investigación Bibliotecológica, 25 (53), 159-183.

Polanco-Cortés, J. (2014). Repositorios digitales. Definición y pautas para su creación. San José de Costa Rica: Universidad de Costa Rica. Recuperado el 01/04/2023 dehttps://ucrindex.ucr.ac.cr/docs/repositorios-digitales-definicion-y-pautas-para-su-creacion.pdf

Sanchez, M. E., & Mariño, S. I. (2021). Implementación de un repositorio para apoyo a la gestión administrativa. Palabra Clave (La Plata), 10(2), e130. https://doi.org/10.24215/18539912e130

Texier, J. (2013). Los repositorios institucionales y las bibliotecas digitales: una somera revisión bibliográfica y su relación en la educación superior. Laccei.org. Recuperado el 14 de abril de 2023, de https://laccei.org/LACCEI2013-Cancun/RefereedPapers/RP042.pdf

UNESCO(2021) Recuperado el 01/04/2023 de https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000379949_spa

Inteligencia cultural y competencias interculturales de estudiantes de ingeniería en tiempos de globalización

Koeltzsch, Grit Kirstin[1]

(1) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.
gkoeltzsch@fhycs.unju.edu.ar

RESUMEN

En este trabajo se presenta el análisis de una encuesta acerca de las competencias interculturales de estudiantes avanzados de diversas carreras de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jujuy. Desde un enfoque cualitativo y autorreflexivo, se interpretan y se discuten los resultados que constituyen una línea de base sobre la percepción de competencias interculturales que sirven como insumo para el diseño de futuras intervenciones. Además, se incluye una discusión con un grupo focal en la cual se articuló el interés y la necesidad de obtener más conocimientos en este sentido, no solamente desde el manejo lingüístico, sino también de contenidos culturales dentro de los currículos de las carreras en ingeniería. Concluimos que, ante la situación global y una exitosa inserción laboral de los ingenieros y las ingenieras en el futuro, es necesario pensar en nuevas estrategias educativas para aumentar la inteligencia cultural entre los/las estudiantes, desde las carreras de grado, que incluyan tanto contactos internacionales como la interacción con la cultura local.

ABSTRACT

This paper analyzes the results of a survey on intercultural competences of advanced students from different careers of the Engineering Faculty of the National University of Jujuy. From a qualitative and self-reflective approach, the research seeks to interpret and discuss the results constituting a baseline on the perception of intercultural competencies that serve as input for the design of future interventions. In addition, a focus group discussion is included where students articulated the interestand the need to obtain more knowledge regarding cultural topics not only from the linguistic management, but also of cultural contents within the curricula of engineering careers.Considering the global situation, the findings show that, for a successful labor insertion of engineers in the future, new strategies should be taken into account to increase cultural intelligence among studentsthat include both international contacts and interaction with the local culture.

Palabras claves: (inteligencia cultural-globalización-educación-interculturalidad)

Keywords: (cultural intelligence-globalization-education-interculturality)

1. INTRODUCCIÓN

Considerando que vivimos en un mundo global y dadas las tendencias económicas cada vez más globalizadas, este preciso estudio aborda la necesidad de que los futuros ingenieros y las futuras ingenieras deben estar preparados/as con las habilidades y competencias necesarias para involucrarse en grupos de trabajo diversos y proyectos de investigación que trascienden las fronteras. Se suman otros factores, por ejemplo, se debe entender la naturaleza global de muchos de los problemas humanitarios que enfrenta el mundo, comprender la complejidad de los procesos socio-históricos y así desarrollar una mirada crítica hacia diversas problemáticas internacionales. Una serie de ellas están íntimamente ligadas a las soluciones de ingeniería. Por ejemplo, como lo destacan Shoemaker, Huang-Saad & Roberts (2020), la población mundial necesita atención sanitaria, agua potable y mejoras de las infraestructuras para satisfacer sus necesidades básicas, así también la alimentación, el cambio climático y el desarrollo sostenible son problemas internacionales que atraviesan las fronteras y requieren una respuesta de la comunidad mundial de ingenieros e ingenieras.

Para fomentar estas aptitudes, las facultades de ingeniería deben preparar a los futuros profesionales para poder insertarse en el mundo globalizado y promover la adquisición de cierta inteligencia cultural (Pérez Foguet et al, 2014). Este aspecto va mucho más allá de solamente "aprender" una lengua extranjera de manera tradicional y como lo proponen los diferentes niveles en las clases de inglés en el plan de estudios. Entra en juego un enfoque de la internacionalización en la educación en ingeniería (Bremer, 2008) como parte de tendencias en la educación en general que a la vez está vinculada a un aprendizaje permanente (*lifelong learning*) con un enfoque en la educación de adultos reconocido por el campo de las ciencias de educación (Lavanchy, 2015 y 2022). Estos aspectos también forman parte de la Agenda 2030, el derecho a la educación permanente y sus implementaciones en nuestras sociedades lo que trabaja a nivel internacional el Institute for Lifelong Learning (UNESCO, 2022).Aquí argumentamos que son justamente estas experiencias con otras culturas que puedan dar a los/las estudiantes de ingeniería una base para una formación integral y permanente mirando más allá de los horizontes actuales que les permitirá trabajar e interactuar exitosamente en su campo de acción profesional y global. Los contenidos culturales son imprescindibles para la formación personal y profesional independientemente de la carrera que estudia una persona. Esto también incluye de manejar cuestiones de lenguajes no verbales y la interacción con otras personas.

En el marco de esta temática, queremos recalcar la importancia del conocimiento cultural en sí, ya que es referente de la identidad, a la vez promueve la economía y el desarrollo local, establece un territorio de creatividad, potencia el capital inteligente y es imprescindible entender la relación entre el conocimiento cultural y la innovación. Por lo tanto, los futuros ingenieros y las futuras ingenieras deberían adquirir conocimiento y consciencia en relación a la cultura propia y ajena porque es la base para entender la diversidad, la pluralidad y la función transversal de las relaciones culturales. A los factores culturales se suman la comprensión de la interconexión entre la ética profesional y personal en los contextos del mundo global (Surgrue y McCarthy, 2015) y la capacidad reflexiva acerca de un equilibrio tecno-humanitario como condición y perspectiva a futuro de la humanidad (Potamskaya, Evstifeeva, y Filippchenkova, 2019). Para la educación, esto significa hacer entender que las problemáticas sociales y naturales no están separadas ni son externas a la ingeniería, sino, y como bien lo reconoce Giuliani (2017, p. 3),"se encuentran intrínsecamente relacionadas con los aspectos técnicos asociados a la práctica del diseño tecnológico, promoviendo una genuina e imprescindible integración del saber".

1.1 *La cultura y la documentación internacional*

Varios documentos internacionales como la Declaración Universal sobre la Diversidad Cultural de la UNESCO (2002) o la Agenda 2030 señalan la importancia y la necesidad de considerar los aspectos culturales para el desarrollo sostenible. En particular, la Agenda 21 de la Cultura reconoce el factor de la educación como en su Artículo 10 establece: "La calidad del desarrollo local requiere la imbricación entre las políticas culturales y las demás políticas públicas –sociales, económicas, educativas, ambientales y urbanísticas". Dicha agenda fue aprobada en 2004 en Barcelona por ciudades y gobiernos locales de todo el mundo comprometidos con los derechos humanos, la diversidad cultural, la sostenibilidad, la democracia participativa y la generación de condiciones para la paz. Son aspectos importantes a incluir en los procesos educativos, y, sobre todo, comprender que las cuestiones culturales no son depósitos estáticos, sino se actualizan constantemente a partir de los contactos transnacionales.

Ante esta situación, para desarrollar este trabajo, se realizó una encuesta entre estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jujuy con el fin de saber si los/las estudiantes reconocen esta necesidad de las temáticas culturales en su formación, cómo autoevalúan sus competencias interculturales y cuáles son sus perspectivas en relación al aprendizaje cultural. Se trata de una especie de detección del estado actual desde una muestra de una facultad que puede servir para la reflexión y estudios en más profundidad. Además, es una base para desarrollar acciones concretas, considerando que nos encontramos en sociedades tecno-céntricas que a la vez deben repensar las relaciones humanas y responsabilidades por parte de los profesionales. Por otro lado, es un eje importante para la educación con proyección a largo plazo y

para formar personas que reconocen el anclaje socio-histórico, cultural e intelectual como parte de la ingeniería y tecnología. Por lo tanto, en la segunda parte del trabajo se presentan los datos empíricos concretos, se analizan y se discuten los resultados.

2 MARCO TEÓRICO-METODOLÓGICO

2.1 *Contextos globales e inteligencia cultural*

La globalización ha impactado tanto en las formas empresariales, políticas y educación como en la vida cotidiana de los individuos y grupos sociales. Ha influenciado—directa o indirectamente— en las acciones nacionales, regionales y locales con múltiples sensibilidades. Este marco también incluye la cambiante reproducción social, territorial y cultural de las identidades de los diferentes grupos, lo que ha llevado a Arjun Appadurai (2001) a argumentar que hoy en día hay que considerar los diversos paisajes étnicos globales que surgen de la interacción global y la tensión entre homogeneización y heterogenización cultural, factores que transforman el imaginario popular de la vida cotidiana. a partir del contacto con productos culturales extranjeros lo que a la vez abre un nuevo imaginario global. Como lo proponen los estudios de dimensiones culturales, simbólicas y materiales (Appadurai, 2001), la globalización es un resultado de la interacción entre diferentes "paisajes", la tecnología digital y del flujo de objetos e ideas en redes globales que nutren las prácticas, imaginarios y percepciones que posiblemente contribuyen a una consciencia cosmopolita. Metodológicamente, esto requiere situar las investigaciones en el contexto global, y, como reconoce Renato Ortiz (1997) desde la sociología de la cultura, la globalización cultural es un proceso en constante construcción y un fenómeno social total que se basa en prácticas cotidianas locales. Los/las estudiantes se encuentran en esta situación de poder, por un lado, adquirir una educación formal a través de sus carreras, y por el otro, obtener un nuevo tipo de conocimiento a través del consumo de culturas transnacionales que ha conducido a un tipo de amateurismo cosmopolita (*cosmopolitan amateurship*), a la innovación y a la creatividad (Cicchelli, Octobre & Riegel, 2016, Cicchelli & Octobre, 2018). El internet hace posible un constante autoaprendizaje e intercambio que configuran fuentes de un nuevo conocimiento. El aumento de los intercambios internacionales ha dado lugar a "terceras culturas" (Featherstone, 2007) que son transnacionales y que actúan como intermediarias entre las culturas nacionales. Este tipo de glocalización proporciona un espacio para la heterogeneidad.

Ahora bien, esta nueva situación nos ha llevado a pensar si la tendencia del "*amateurship"* realmente contribuye a más competencias culturales,en qué dirección se debería conducir la educación formal, a pesar de las nuevas posibilidades de aprendizaje, y,cuáles son las temáticas culturales a incluir. Una clave en esta relación es la inteligencia cultural que es la capacidad para desenvolverse eficazmente en entornos con culturalmente diversos, considerando las dimensiones metacognitivas, cognitivas, motivacionales y conductuales. Ang et al. (2007) la definen como"*capability to function effectively in culturally diverse settings*" (p. 335). Principalmente se trata de las habilidades de averiguar sobre otras culturas para conocer que todavía no se sabe, adquirir confianza para entrar en diálogo,saber cómo tratar a personas culturalmente ajenas y adaptar el comportamiento dentro contextos de otras culturas o multiculturales.

Early & Ang (citado en March Rodríguez, 2015, p. 145) desarrollan para la inteligencia cultural una escala de "CQ´s" (coeficientes culturales) en relación a las cuatro capacidades principales; la motivación (CQ Drive), para determinar el nivel de entrega para interactuar correctamente con otras culturas,la cognición (CQ Conocimiento) pregunta sobre las profundidades de comprensión para detectar las diferencias o similitudes interculturales, la metacognición o inteligencia de estrategia (CQ Estratégica) examina la competencia y si persona tiene actitud positiva e proactiva hacia otra cultura, y, la capacidad de comportamiento y acción (CQ Acción) que informa sobre la comunicación, las emociones y la capacidad de reflexionar.

Para hacer un estudio preliminar hemos elegido algunos de estos aspectos anteriormente mencionados. Cabe recordar que la mayoría de los estudiantes de grado no han tenido experiencias de estudiar o trabajar en contextos fuera de su lugar de residencia.

En relación a la competencia intercultural, sostenemos el trabajo en la conceptualización que considera como requisito un conocimiento adecuado y relevante sobre culturas particulares, así como adquirir un amplio conocimiento

general para poder interactuar con diversas personas. Un documento de la UNESCO (2017, p.20) propone dividir las competencias interculturales en conocimiento y saberes a partir de capacidades independientes:"saber comprender (habilidades para interpretar/relacionarse), saber aprender (habilidades para descubrir/interactuar), saber ser (disposición a la curiosidad y apertura) y *savoir s'engager* (consciencia cultural crítica)". Tomamos esta base para el análisis y la discusión de los resultados.

2.2 *Metodología*

La metodología empleada es de carácter cualitativa acerca de las competencias culturales de los estudiantes en ingeniería. Se diseñó un cuestionario específico para detectar la situación a partir de una autoevaluación de conocimientos culturales, lingüísticos y comportamientos. Además, para el análisis se considera la experiencia del taller bilingüe titulado "Estrategias para una carrera como ingeniero/a global – A career as a global engineer" que dictamos en el marco de la XX Semana Nacional de la Ciencia y la Tecnología 2022 (Res. C.A.F.I. N°348/2022) donde trabajamos con los/las participantes (en total 45 estudiantes) sobre diversas cuestiones culturales, requisitos para su futura inserción en el mundo laboral en combinación con la práctica del idioma inglés. En el caso del taller, el grupo fue mixto en relación a las carreras y el estado del avance, o sea, la actividad integraba estudiantes en su primera etapa y alumnos avanzados. En este mismo marco se discutían cuestiones culturales, las experiencias y visiones para el futuro

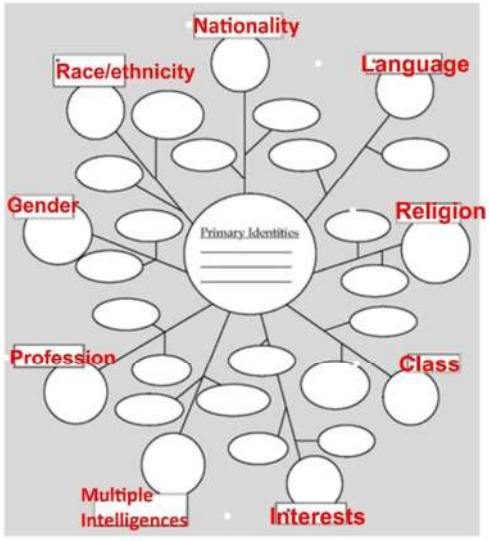
Respecto de la encuesta, como indican las estadísticas en el siguiente apartado, se enfocaba en estudiantes avanzados, ya que las materias que cursaban en nuestra cátedra son del tercer y cuarto año, además, el rango etario (mayormente entre 20 y 30) también lo demuestra. Destacamos esto, porque la elección fue a propósito. Podemos decir que un alumno avanzado ya ha cursado los niveles de lengua extranjera inglés, ya tiene experiencia con los contenidos de las materias de su carrera y ya estará en condiciones reales de hacer un intercambio académico, por lo tanto, para el fin del estudio nos interesaban estos factores.

Planteamos las preguntas si los/las estudiantes tienen motivación para interacciones culturales, si poseen los conocimientos y herramientas para una exitosa interacción cultural, si tienen una actitud proactiva para entrar en contacto con otras culturas y si tienen la capacidad de reflexión crítica.

Para el análisis de los datos, se entrecruzaron las categorías conocimiento cultural, dominio de lenguas extranjeras y relaciones interculturales para examinar la situación entre el saber existente y la proyección de los/las participantes. Respecto de la lingüística en particular, se examinó la relación entre saber la gramática y la estructura de una lengua extranjera y la capacidad de comunicarse de manera fluida. Además, se consideraron los criterios según la escala de los cuatro elementos de la inteligencia cultural para llegar a un primer acercamiento.

Respecto del taller, los 45 participantes completaron el así llamado "*culture-gram*" en lengua inglesa o en español. Como profesora con trasfondo multicultural también realicé esta tarea. Se compartieron los resultados entre todas las personas presentes. Observando la Figura 1, en este esquema se ramifican diversos aspectos culturales y personales para definir en el centro tres identidades primarias. La discusión que surge a partir de este ejercicio se incluye en el trabajo como discusión de grupo focal.

Figura 1: *Culture-gram*. Fuente: Chang (2008, p. 173).



Las categorías establecidas por Chang (2008) son: nacionalidad, idioma, religión, clase social, intereses, inteligencias múltiples, profesión, género y raza/etnicidad. La idea es reflexionar acerca de la propia cultura y aspectos personales para generar una base de intercambio con otras personas y entender la complejidad cultural desde la autorreflexión. Este mismo también constituye un principio metodológico que aplico en mis investigaciones y mi tarea docente.En acuerdo con Warren (2011), los profesores deberían aplicar una ética y la práctica de una enseñanza reflexiva que conducehacia prácticas autoetnográficas críticas de, en y sobre la pedagogía. A la vez, la reflexión autoetnográfica ayuda a desarrollar filosofías pedagógicas y actitudes más críticas también en relación a nuevas epistemologías (Koeltzsch, 2022 y 2021) que beneficia el trabajo en el aula. Estos aspectos también son importantes para el ámbito de las carreras en ingeniería y afines.

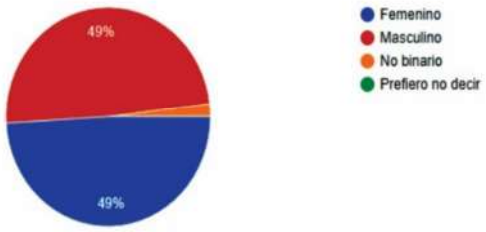
2.3 *Muestra*

En la encuesta realizada mediante un formulario de *Google Forms,* se registraron 51respuestas de alumnos/alumnas que están cursando o cursaron una de las materias de la cátedra que integran las asignaturas “Metodología de la Investigación Científica”, “Seminario de Epistemología” y “Taller de Formación Profesional” del ciclo lectivo 2022 y del primer cuatrimestre de 2023. Los/las participantes están matriculados/as en diferentes carreras de la Facultad de Ingeniería de la UNJu (véase Tabla 1). En algunos casos indicaron que cursan dos carreras, por ejemplo, Ingeniería Informática y Licenciatura en Sistemas. En este caso se consideró la asignatura que mencionaron como primera carrera.
Los alumnos y las alumnas que participaron tienen entre 19 y 47 años; el 74% se encuentra en el rango etario entre 20 y 30 años. En relación al género, se pidió una autoidentificación cuyos resultados pueden verse en la Figura 2.
Cabe señalar que los/las participantes fueron informados/as sobre los fines de la encuesta y también sobre su participación voluntaria.

Tabla 1. Participantes de la encuesta (total 51 estudiantes). Facultad de Ingeniería/UNJu.

Carrera	**Participantes**
Ingeniería Informática	57%
Lic. Tecnología de los Alimentos	29%
Lic. en Sistemas	10%
Ingeniería Química	2%
Ingeniería Industrial	2%

Figura 2: Autoidentificación de género.
(Femenino 49%; Masculino 49%, No binario 2%)



2.4 *Preguntas del cuestionario*

Pedimos contestar 12 afirmaciones con un esquema de respuestas predeterminado en la escala: totalmente de acuerdo (TA)– de acuerdo (A) –ni de acuerdo ni en desacuerdo (N/N) –en desacuerdo (DA)– totalmente en desacuerdo (TDA). Las consignas 7; 10; 11 y 12 tenían la opción si/no/no sé-no contesto o tal vez.Los contenidos de las afirmaciones combinan aspectos culturales y lingüísticos, la dimensión conductual, dimensión motivacional sobre una estancia en otro país y su expectativa en relación a contenidos culturales dentro de su formación en ingeniería. Estas fueron las consignas en cuestión:

1)Tengo suficientes conocimientos culturales para interactuar con personas de culturas diferentes.

2)Conozco los sistemas jurídicos y económicos de otras culturas.

3)Conozco las reglas (p. ej., vocabulario, gramática) de otras lenguas.

4)Conozco los valores culturales y las creencias religiosas de otras culturas.

5)Conozco las artes y oficios de otras culturas.

6)Conozco las normas de expresión de los comportamientos no verbales de otras culturas.

7)Me gusta relacionarme con personas de otras culturas.

8)Confío en poder relacionarme con personas de una cultura que me es desconocida.

9)Me parece importante adquirir conocimiento sobre otras culturas.

10)Me interesa hacer una experiencia académica en otro país.

11)Comprendo y hablo de manera fluida una segunda lengua.

12)Me gustaría aprender más aspectos culturales globales como parte de la educación en la Facultad de Ingeniería.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las siguientes tablas presentamos la distribución de las respuestas para las consignas que hemos presentado anteriormente. A partir de estos números realizamos luego la interpretación que la discusión para llegar a nuestras conclusiones.

Tabla 2. Respuestas de las consignas 1-6 y 8.

	TA	**A**	**N/N**	**DA**	**TDA**
1	11,8%	45%	39,2%	2%	2%
2	2%	25,5	43%	27,5%	2%
3	-	49%	27,5%	23,5%	-
4	7,8%	53%	25,5%	13,7%	-
5	2%	43,1%	39,2%	15,7%	-
6	2%	29,4%	35,3%	29,4%	3,9
8	27,5%	62,7%	7,8%	2%	-

Tabla 3. Respuestas de la consigna 9.

	Muy imp.	**Imp.**	**+/- imp.**	**poco**	**nada imp.**
9	49%	39,2%	11,8%	-	-

Tabla 4. Respuestas de las consignas 7 y 10-12.

	Sí	**No**	**No sé/no contesto**
7	84,3%	-	15,7%
10	76,5%	2%	21,5% (tal vez)
11	17,6%	56,9%	25,5%
12	72,5%	-	27,5%

En esta instancia, tratamos de hacer una lectura sobre las respuestas, ya que nos indican tendencias para luego desarrollar estrategias para una posible inserción de contenido cultural en las carreras de ingeniería. De manera general, los y las estudiantes reconocen tener cierto conocimiento acerca de otras culturas para poder interactuar, sin embargo, un 39% no está muy seguro acerca de esta habilidad. Cuestiones particulares de otras culturas como los sistemas jurídicos y económicos solamente un cuarto afirma tener conocimiento. Un poco más saben sobre artes y oficios (un 45%) y sobre valores culturales y creencias religiosas un 61% afirma tener conocimientos.

En relación al manejo de una lengua extranjera, los datos nos indican un aspecto crucial, una cosa es aprender las reglas y estructuras gramaticales de un idioma, y otra cosa, estar en condiciones de comunicarse o entender el lenguaje no verbal. Recordamos que la lengua es un pilar fundamental de una cultura y requiere un aprendizaje integral. Al parecer en este aspecto hay una deficiencia en la educación. La mitad cree tener suficiente conocimiento sobre la gramática y las reglas de una lengua extranjera, pero solamente un 17% reconoce poder hablar fluido en una lengua extranjera. Un 68% no está seguro o no sabe entender el lenguaje no verbal o el comportamiento de personas de otras culturas y un 82% no está seguro o directamente no puede hablar de manera fluida una lengua extranjera, algo que sería necesario para un intercambio en contextos no hispanoparlantes.

En este panorama y el estado del conocimiento especifico, nos parece interesante destacar que se articuló un interés en relacionarse con personas de otras culturas, así un 84% afirma que le gusta relacionarse con personas de otras culturas; un 90% tiene confianza en poder relacionarse con personas de culturas ajenas. Esto podría ser interpretado como un deseo, desvinculando las competencias lingüísticas, es decir, tal vez se espera que la otra persona hable la lengua castellana. Está muy clara la intención lo que todavía no asegura la competencia intercultural. Estas cuestiones debemos relacionarlas con el paradigma moderno de la condición humana (Arendt, 2003) en relación a la necesidad de interacción con otras personas y; de manera específica en relación a este estudio, la confianza puede surgir también justamente por la posibilidad del autoaprendizaje del *cosmopolitan amateur* (Cicchelli, Octobre y Riegel, 2016, Cicchelli y Octobre, 2018) que hemos mencionado en el inicio y que también ayuda a comprender aspectos culturales del mundo global a partir de diversas prácticas globales y locales.

En la encuesta queda muy claro el deseo de hacer una experiencia académica en otro país, lo que afirma un 76,5% de los participantes y un 21,5%tal vez lo consideraría. De ahí tal vez surge la evaluación de que un 88% considera importante y muy importante adquirir conocimiento sobre otras culturas, pero también incide la situación de las exigencias para un futuro ingeniero en su inserción laboral que debe presentar competencias culturales. Esto concluye en el último punto de la encuesta de que para su formación como profesionales un 72,5% de los/las participantes quisieran aprender más sobre otras culturas en relación al mundo global dentro de su formación en la Facultad de Ingeniería. Esto significa que están conscientes de la importancia de las competencias culturales.

Los resultados indican una clara tendencia que la dimensión cultural es de suma importancia más allá de la formación disciplinar en cada carrera, a la vez, demuestra una cierta deficiencia en relación a la temática, ya que el aprendizaje mecánico de contenidos mínimos gramaticales o estructuras en un idioma como inglés a los alumnos y las alumnas no les dan las herramientas suficientes para una inteligencia cultural. Aprender una lengua implica aprender el contexto cultural y todo un sistema de símbolos, conductas e ideas relacionadas. Se complementanlos contenidos y lasdestrezas lingüísticas, además de la autorreflexión y la seguridad acerca de la propia identidad. Estos temas tratamos de practicar en el taller en el marco de la Semana Nacional de la Ciencia. Con diversos ejercicios combinando la lengua inglesa con la expresión de contenidos culturales, propios y ajenos, quedó claro que la cultura también es creadora de identidades, fomenta la inclusión social y la comprensión acerca de la diversidad. Aclaramos también que estos ejercicios autorreflexivos no solamente son una tarea de los alumnos y alumnas, sino también, y, en primer lugar, un deber de los profesores y profesoras, académicos y académicas, antes de entrar en un aula auto reflexionar sobre las propias competencias culturales.

En relación al profesional de las diversas ramas de la ingeniería, estamos de acuerdo con March Rodríguez (2015, p. 142) de que los ingenieros y las ingenieras deberían ser visionarios “sin dejar de observar el pasado y el presente” su formación debe incluir los contextos culturales y sociales, además, otro requisito es que “al entrar en contacto con su competencia profesional, con la máquina y lo que ella produce, con las estructuras, con lo que invente, manipule o modifique, también se ubique en la realidad de quienes estén vinculados a su producción y fundamentalmente a los usuarios”. Para comprender todo esto, la educación en relación a temáticas culturales es crucial, pero también que la cultura es un eje transversal en el desarrollo local.

Para contestar la problemática contestando las preguntas iniciales acerca de los coeficientes de la inteligencia cultural, podemos decir que hay una clara motivación (CQ Drive) a los contactos con otras culturas a través de experiencias académicas en otros países y la motivación de aprender contenidos culturales. Sobre la profundidad de comprensión (CQ Conocimiento), cabe aclarar que existe cierta dificultad para articular cuestiones culturales en relación con la propia identidad, sea en la lengua materna como una lengua extranjera. Los/las participantes del taller acerca de los requisitos para una persona profesional en ingeniería participaron activamente y completaron el esquema denominado “*culture-gram*” (véase Figura 1). La actividad se dictaba de manera bilingüe, poniendo énfasis al inglés para fomentar la práctica escuchar y articularse en una lengua extranjera. Cabe mencionar que hubo

mucho interés y participación, sin embargo, se detectó cierta dificultad de completar el "*culture-gram*", no solamente por el idioma inglés. Se podía realizar la tarea en lengua castellano, aun así,se cristalizó un obstáculo que es la articulación en sí en la lengua nativa. Esto podría ser un indicio de la falta de la consciencia cultural y de enfrentarse activamente con temáticas humanas y sociales. Es decir, el aprendizaje de competencias culturales comienza con la reflexión y seguridad acerca de la propia cultura que se debe considerar en interacción con otras culturas. El taller quedó como una primera experiencia en este sentido. Sin embargo, los/las participantes mostraron una actitud positiva (CQ Estrategia), tanto en el aula con una profesora con trasfondo intercultural y multilingüe, pero también desde la encuesta se puede interpretar una tendencia proactiva, ya que la mayoría desea más inclusión de contenidos culturales en sus carreras. La capacidad de reflexionar (CQ Acción) quedaría a poner a prueba a partir de contactos concretos con personas de otras culturas, entender lenguajes no verbales y manejar las emociones, es un punto que reconocen en la encuesta donde la mayoría contesta no tener suficientes conocimientos para entender el comportamiento y signos no verbales de otras culturas.

Desde el ensayo en el taller y la muestra de la encuesta, se puede concebir la complejidad del fenómeno cultural y humano, así como lo destaca Rapp (1981),necesitamos una comprensión de la filosofía de la cultura y sensibilidad histórica, para también entender una filosofía de la tecnología. Los avances tecnológicos actuales necesariamente exigen tanto profesionales en su disciplina como seres humanos sensibles a cuestiones humanas y culturales.

4 CONCLUSIÓN

Las preguntas planteadas y las respuestas son de suma importancia para pensar las carreras en ingeniería y aportan pruebas para fundamentar decisiones en relación a la implementación de medidas para aumentar la competencia intercultural entre los/las estudiantes de ingeniería. Esto beneficiará otros sectores de la sociedad, por ejemplo, empleadores, clientes y la población en general (Shoemaker, Huang-Saad y Roberts, 2020), ya que el futuro ingeniero y la futura ingeniera que saldría preparado/a de la universidad para afrontar mejor los retos mundiales de la ingeniería. Como resultados de este trabajo sostenemos que se deben mejorar las competencias interculturales en relación a las habilidades para interpretar y relacionarse y también las habilidades para descubrir e interactuar, porque son destrezas que no se atiende en las clases de lengua extranjera, además, tres cuartos de los/las participantes de la entrevista evalúan no poder realizar una conversación en una segunda lengua. Existe la disposición a la curiosidad y la apertura por parte de los/las estudiantes que es un aspecto positivo que luego de procesos de aprendizaje puede llevar a la*savoir s'engager* (consciencia cultural crítica) que se necesita para interactuar con éxito en el mundo globalizado.

Para los procesos educativos,la autorreflexión contribuye a fomentar un aprendizaje en diversos sentidos, ya que la búsqueda profesional significa una constante superación personal, tanto para los/las formadores/as como alumnos/as. Los ejercicios reflexivos deben formar parte tanto en instancias de grado y posgrado como profesionales. Para el siglo XXI, y como lo plantean Potamskaya, Evstifeeva, y Filippchenkova,"*The engineer should focus on professional competencies and assimilate educational, cultural and ethical elements that contribute to various innovations*" (2019, p. 3). De esta manera podemos aplicar el paradigma socio-humanitario en la educación, investigación y práctica profesional en ingeniería.

5 REFERENCIAS

Agenda 2021 de la cultura (2008). Recuperado el 13 de abril de 2023 de https://www.agenda21culture.net/sites/default/files/files/documents/multi/ag21_es_ok.pdf

Ang, S., Van Dyne, L., Koh, C., Ng, K. Y., Templer, K. J., Tay, C., y Chandrasekar, N. A. (2007). Cultural intelligence: Its measurement and effects on cultural judgment and decision making, cultural adaptation and task performance.*Management and Organization Review*, 3(3), 335-371. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1740-8784.2007.00082.x

Appadurai, A. (2001). *La modernidad desbordada. Dimensiones culturales de la globalización*. Ediciones Trilce, FCE.

Arendt, H. (2003).*La condición humana*. Paidós.

Bremer, D. (2008). Engineering the world. *Online Journal for Global Engineering Education*, 3(2), 1-6. https://digitalcommons.uri.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1013&context=ojgee

Chang, H. (2008). *Autoethnography as Method.* Routledge.

Cicchelli, V., Octobre S., y Riegel, V. (2016). After the Omnivore, the Cosmopolitan Amateur: Reflections about Aesthetic Cosmopolitanism. *Global Studies Journal* 9(1), 55-70. DOI: http://doi.org/10.18848/1835-4432/CGP/v09i01/55-70

Cicchelli, V. y Octobre, S. (2018). *Aesthetico-Cultural Cosmopolitanism and French Youth. A Taste of the World.* Palgrave.

Featherstone, M. (2007). *Consumer culture and postmodernism*. SAGE Publications Ltd.

Giuliano, H. G. (2017). Un modelo analítico para una educación en ingeniería contextualizada. I Congreso Latinoamericano de Ingeniería. Consejo Federal de Decanos de Ingeniería de la República Argentina. Recuperado el 15 de agosto de 2023 de https://repositorio.uca.edu.ar/bitstream/123456789/5610/1/modelo-analitico-educacion-ingenieria.pdf

Koeltzsch, G. K. (2022). De la fábrica a la Universidad. El camino indirecto a ser docente en una Facultad de Ingeniería. En Matilda y las mujeres en ingeniería en América Latina. Editorial UNICEN.

Koeltzsch, G. K. (2021). Knowing yourself to educate. Performative autoethnography as a self-reflexive method for research and education, *MusicoGuia Magazine,* 3, 487-491.

Lavanchy, D. (2015). *Educación de adultos*. Purmamarka Ediciones.

Lavanchy, D. (2022). Alfabetizaciones permanentes.*Cuadernos Universitarios*,15, 125-138. DOI: https://doi.org/10.53794/cu.v15i15.516

March Rodríguez, T. (2015). La inteligencia cultural del ingeniero y el gran arco en el pensamiento de Michael Carrithers. *Revista Ciencias de la Educación*, 45, 141-152. Recuperado el 10 de abril de 2023 de https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7471136

ONU (2015) Objetivos de Desarrollo Sostenible. Recuperado el 13 de abril de 2023 de https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/

2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/

Ortiz, R. (1997). *Mundialización y cultura*. Alianza.

Pérez Foguet, A. [et al.] (2014). *La dimensión global en los estudios tecnológicos. (Vol. 1. La necesidad del ingeniero global)*.GDEE.

Potamskaya, V. P., Evstifeeva, E. A. y Filippchenkova, S. I. (2019). Personal and ethical components of the engineer in the 21st century. *SHS Web Conferences*, 69, 00088. DOI: https://doi.org/10.1051/shsconf/20196900088

Rapp, F. (1981). *Analytical Philosophy of Technology.* Springer.

Shoemaker, K. A.; Huang-Saad, A. y Roberts, M. (2020). Cultural Intelligence and Experiences in International Engineering Programs.*IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*. DOI: https://doi.org/10.1109/FIE44824.2020.9274181.

Surgrue, N.M. y McCarthy, T.G. (2015). Engineering Decisions in a Global Context and Social Choice. En: Murphy, C., Gardoni, P., Bashir, H., Harris, Jr., C. y Masad, E. (eds) *Engineering Ethics for a Globalized World. Philosophy of Engineering and Technology*, *Vol 22.* Springer.

UNESCO (2002). Declaración Universal sobre la Diversidad Cultural: una visión, una plataforma conceptual, un semillero de ideas, un paradigma nuevo. Recuperado el 13 de abril de 2023 de https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000127162_spa

UNESCO (2017). Competencias Inetrculturales: marco conceptual y operative. Recuperado el 18 de abril de 2023 de https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000251592

UNESCO (2022) Institute for Lifelong Learning. Annual Report. Recuperado el 15 de abril de 2023 de https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000384704

Warren, J. T. (2011). Reflexive Teaching: Toward Critical Autoethnographic Practices of/in/on Pedagogy. *Cultural Studies ↔ Critical Methodologies*,11(2), 139–144. DOI: https://doi.org/10.1177/1532708611401332

Estudio experimental dinámico del impacto en vigas

Sfer, Domingo[1]; Isla Calderón, Facundo[1]; Raed, Matías[1]

(1) Instituto de Estructuras, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología. Universidad Nacional de Tucumán.

RESUMEN

El estudio experimental dinámico representa un importante desafío en la actualidad, sus avances se corresponden con el crecimiento y la accesibilidad de sistemas de medición y adquisición de alta frecuencia. En este trabajo se presenta un análisis experimental dinámico de una viga de acero solicitado por el impacto de un proyectil esférico. En este trabajo experimental se siguen los lineamientos del DropWeigth Test. Se registra el comportamiento de la viga utilizando dos tamaños de proyectiles que impactan cayendo de diferentes alturas. Este estudio pudo realizarse gracias al equipamiento experimental dinámico del Instituto de Estructuras de la UNT, que cuenta con un sistema de medición y adquisición de datos de alta frecuencia de muestreo. Por otro lado, se particulariza el caso mediante un modelo analítico propuesto por TIMOSHENKO, se realizan comparaciones y se obtienen conclusiones.

ABSTRACT

The dynamic experimental study represents a major challenge today, its advances correspond to the growth and accessibility of high-frequency measurement and acquisition systems. In this work a dynamic experimental analysis of a steel beam applied by the impact of a spherical projectile is presented. In this experimental work the guidelines of the Drop Weight Test are followed. The behavior of the beam is recorded using two projectile sizes that impact falling from different heights. This study could be carried out thanks to the dynamic experimental equipment of the “Instituto de Estructuras” of the UNT, which has a measurement and data acquisition system with a high sampling frequency.On the other hand, the case is particularized through an analytical model proposed by TIMOSHENKO, comparisons are made and conclusions are drawn.

Palabras claves: IMPACTO - FUERZA DE CONTACTO - ANALISIS EXPERIMENTAL

Keywords: IMPACT - CONTACT FORCE - EXPERIMENTAL ANALYSIS

1. INTRODUCCION

El análisis experimental del impacto sobre elementos estructurales representa un importante desafío, el cual ha evolucionado en los últimos tiempos gracias a los avances tecnológicos que permiten realizar la adquisición de datos a muy alta frecuencia. Uno de los ensayos más difundidos para el estudio del impacto es el ensayo de caída libre de una carga sobre un elemento estructural, más conocido en la bibliografía específica como “DROP WEIGTH IMPACT TEST”.

En diferentes proyectos de Investigación que se llevan a cabo en el Instituto de Estructuras de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la UNT se estudia el impacto sobre elementos estructurales, en particular sobre estructuras de hormigón reforzado con fibras de acero. Por este motivo en los últimos años se ha incorporado a la infraestructura del laboratorio un equipamiento específico para el estudio experimental del impacto. Este equipamiento consta de acelerómetros y celdas de cargas dinámicas, como así también dispositivos de adquisición de datos de alta frecuencia a los fines de poder realizar mediciones durante el impacto.

En este trabajo se presenta un estudio experimental del impacto sobre una viga de acero la cual se ha instrumentado con una celda de carga dinámica. Se presentan algunos detalles del montaje experimental que resultan

imprescindibles para poder registrar adecuadamente el comportamiento bajo impacto.

Por otro lado, se analiza la respuesta analítica propuesta por TIMOSHENKO y se comparan resultados.

2. ANALISIS EXPERIMENTAL

El espécimen ensayado es una viga de acero de sección transversal cuadrada de 12.7 mm de lado y 1 m de longitud. La misma se coloca sobre dos apoyos metálicos especialmente diseñados para que la misma se comporte como simplemente apoyada, siendo la luz libre entre apoyos igual a 762 mm, en el esquema de la figura 1 se detalla el montaje del ensayo.

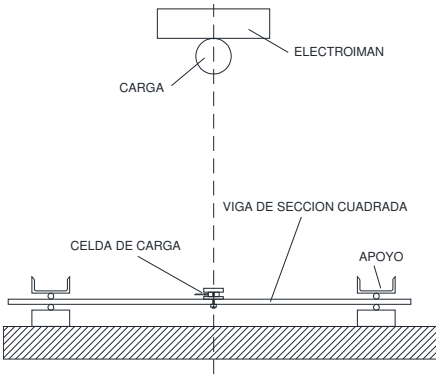


Figura 1: Montaje del ensayo de impacto

Se utilizaron como proyectiles para impactar a la viga esferas de acero, de 47.4 mm una y otra de 37 mm de diámetro, con masas de 441 gr y 555 gr respectivamente. Este proyectil se dispone a diferentes alturas de caída mediante un electroimán, el cual se libera y deja caer el mismo sincronizado con el inicio de la adquisición de datos. Esta sujeción se hace exactamente a la altura requerida perfectamente vertical al centro de la viga, donde se ubica la celda de carga. Para evitar el movimiento de la viga en el impacto se fija la misma a través de prensas, de esta forma se evitan desplazamientos de la viga en los apoyos durante el impacto.

Figura 2: Celda de carga utilizada

En cada ensayo se registran la fuerza de impacto para las diferentes alturas de caída de la carga. de 30, 50 y 100 cm, se miden la fuerza de impacto en la mitad de la luz libre. Esta fuerza de impacto se mide con una celda de carga PCB PIEZOTRONICS modelo 203B. En la figura 2 muestra la celda de carga

Esta celda de carga se dispuso en el centro de la luz de la viga a los fines de poder registrar la fuerza de contacto del proyectil. En la siguiente figura se muestra una fotografía del montaje de la celda de carga sobre la viga metálica.

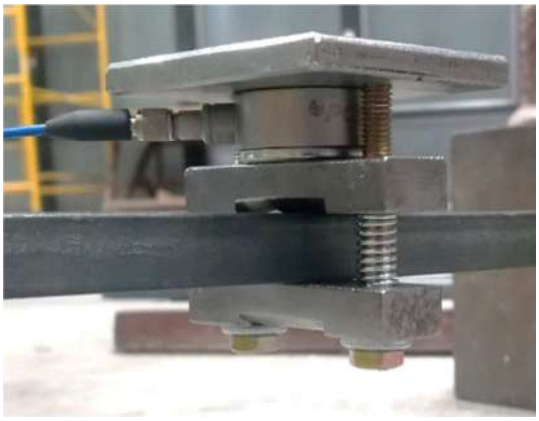


Figura 3: fotografía de la Celda de carga montada

Para la adquisición de datos se utilizó un acondicionador de señales PCB PIEZOTRONICS modelo 482C05 el cual se conecta a una placa de adquisición de señales Measurement Computing modelo USB-1602HS. El procesamiento de las señales se realizó con un software de desarrollado en el Instituto de Estructuras. En la siguiente figura se esquematiza los dispositivos dispuestos en el proceso de medición y adquisición de datos.

Figura 4: esquema de los dispositivos de medición y adquisición de datos.

El desarrollo de este estudio experimental requiere de una minuciosa planificación, considerando que la duración del impacto es de apenas unos decimas de milisegundos. Por esta razón la adquisición debe controlarse al extremo. Se requiere de una frecuencia de muestreo muy alta, en este caso de un millón de muestras por segundo. Es por ello que el inicio de la caída del proyectil se sincroniza con el inicio de la adquisición, de esta forma aseguramos tener los registros de los tiempos correspondientes al impacto. Para ello se ha diseñado un dispositivo electrónico que, al iniciar la adquisición acciona automáticamente sobre un interruptor que corta la corriente de un electroimán, dejando caer libremente el proyectil. En la siguiente figura se muestra una fotografía del electroimán soportando el proyectil sobre la celda de carga.

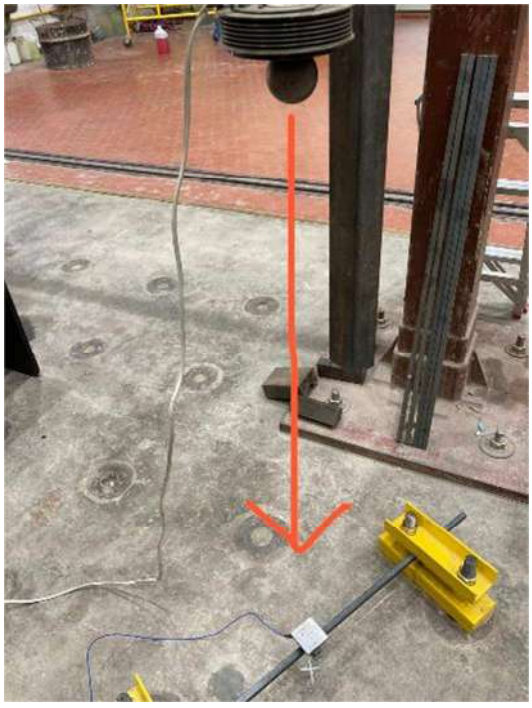


Figura 5. Fotografía del electroimán soportando el proyectil

En la fotografía de la figura 6 se muestra la disposición general del ensayo realizado

Figura 6. Fotografía de la disposición general del ensayo

3. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Los resultados experimentales se presentan mediante gráficos que muestran la variación de la fuerza de contacto en el tiempo durante el impacto.

Se presenta en un primer gráfico la respuesta para el caso del proyectil de 555 gr (47.4 mm diámetro), para las alturas de caída de 300, 500 y 1000 mm.

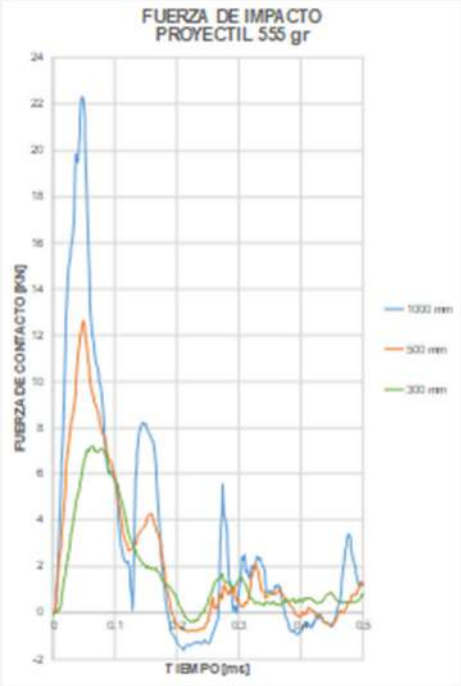


Figura 7. Registro de la Fuerza de contacto durante el impacto (proyectil de 555 gr)

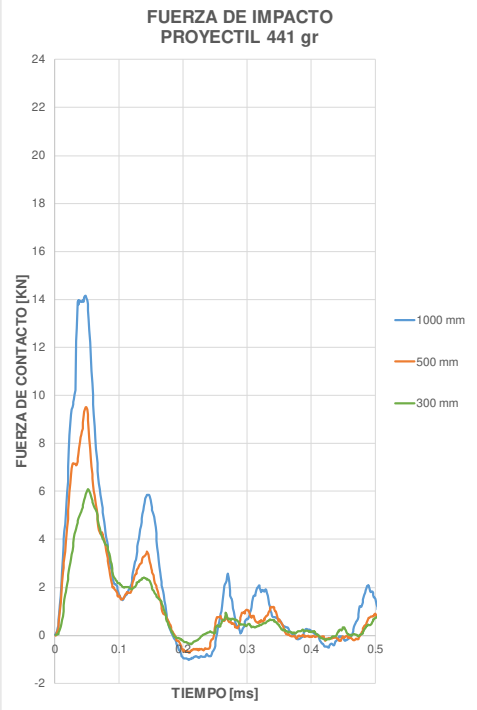


Figura 8. Registro de la Fuerza de contacto durante el impacto (proyectil de 441 gr)

Se observa que se realizaron varios ensayos con la misma altura de caída, (3 para cada altura), apreciándose registros similares los cuales no se han representado en los gráficos.

4. MODELO ANALITICO DEL IMPACTO

La modelación analítica corresponde a una propuesta de TIMOSHENKO, quien propone una expresión que permite conocer el comportamiento en términos de desplazamientos y fuerzas para el impacto de un proyectil sobre una viga flexible (Capítulo 9 "impacto sobre estructuras flexibles") presentado en el libro "IMPACT MECHANICS" de W. J. Stronge de 2004.

Este texto explica que en general, la flexibilidad de la estructura sobre la cual se produce el impacto incrementa la duración del contacto y reduce la fuerza máxima. La magnitud de estos efectos depende de la diferencia entre el tiempo de contacto requerido para producir deformaciones locales y el período del modo fundamental de vibración de la estructura. Para analizar esto, considera una viga elástica uniforme con longitud L y momento de Inercia I compuesta por un material con módulo de Young E. La viga es impactada por un proyectil de masa M´ que la golpea, esta se mueve en una dirección transversal al eje de la viga. La trayectoria del proyectil es colineal al eje de la viga. En el punto de impacto se ubica en x_0 y allí se produce una fuerza de contacto F(t), y esta se debe al desplazamiento por flexión de la viga w (x_0, t), según la expresión:

$$w(x_0,t) = \sum_{j=1}^{\infty} \frac{X_j^2(x_0)}{\rho A \omega_j} \frac{\int_0^t F(t') \sin \omega_j (t-t') dt'}{\int_0^L X_j^2(x) dx} \qquad (1)$$

Esta expresión considera las amplitudes de los modos naturales de la viga X_j, la fuerza $F(t')$, la frecuencia natural ω_j de cada modo, la densidad ρ y el área A de la viga.

En la siguiente figura se aprecian los desplazamientos producidos en el impacto.

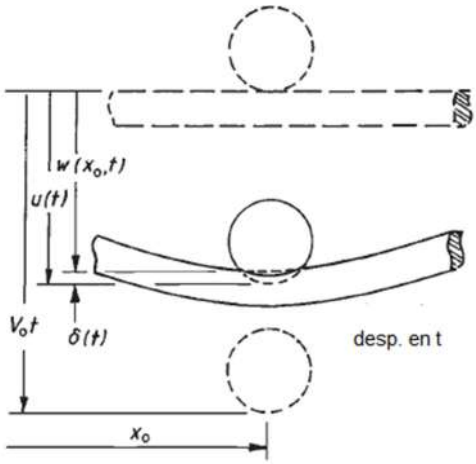


Figura 9. Desplazamientos producidos en el impacto de un proyectil sobre una viga flexible

Donde *u(t)* es el desplazamiento del proyectil. Si se tiene en cuenta la acción que actúa sobre el proyectil esférico, esta resulta ser una fuerza de contacto igual pero opuesta, la cual desacelera el cuerpo que choca. Aquí consideramos que la fuerza de contacto actúa en una dirección normal al contacto inicial superficial y tiene una línea de acción que pasa por el centro de masa del cuerpo que choca. En consecuencia, el cuerpo que choca se desacelera desde una velocidad de impacto V_0 y no sufre rotación. Durante el contacto, el centro de masa del cuerpo que choca sufre un desplazamiento *u(t)* donde:

$$u(t) = V_0 t - \frac{1}{M'}\int_0^t (t-t')F(t)dt' \qquad (2)$$

La muesca local que genera el proyectil en la viga está representada por $\delta(t) = u(t) - w(t)$ como se muestra en la Figura 9. Esta hendidura o muesca local está relacionada con la fuerza de contacto a través de la relación de la fuerza – profundidad de la muesca, la cual depende de la geometría de las superficies en contacto y de la magnitud de la Fuerza. Esta relación puede ser lineal o de otro tipo. En en general puede escribirse:

$$\delta = f(F) \qquad (3)$$

Con cualquier relación fuerza – profundidad hendidura que se proponga, la compatibilidad de los desplazamientos en x_0 permite plantear una ecuación donde interviene la fuerza de contacto *F(t)* que actúa sobre la viga, esta sería:

$$\delta(t) = V_0 t - \frac{1}{M'}\int_0^t (t-t')F(t)dt' - \\ - \sum_{j=1}^{\infty} \frac{X_j^2(x_0)}{\rho A \omega_j} \frac{\int_0^t F(t')\sin\omega_j(t-t')dt'}{\int_0^L X_j^2(x)dx} \qquad (4)$$

Esta ecuación integral para la fuerza de contacto *F(t)* fue obtenida por Timoshenko (1913) quien utilizó la cuadratura para obtener una solución numérica a la ecuación para casos particulares de contacto esférico; para ello, discretizó las integrales y resolvió F en cada paso de tiempo sucesivo.

Lennertz (1937) desarrolló una solución aproximada a la ecuación basada en la respuesta estructural tomando sólo el menor modo de vibración. Este método fue mejorado y ampliado por E.H. Lee (1940). El método da resultados razonables si el tiempo de contacto es corto en comparación con el período modal de vibración $2\pi/\omega_1$

El método de Lee supone que durante el contacto la fuerza de reacción es un pulso que varía sinusoidalmente con el tiempo. El pulso tiene periodo Ω y amplitud F_c que se obtienen de la respuesta estructural del sistema compatible, es decir, F(t) es aproximadamente F_c sen Ωt, para $0<t<\pi/\Omega$. Después de sustituir e integrar, el desplazamiento δ se obtiene como:

$$\delta(t) = V_0 t - \frac{F_c}{M'\Omega^2}(\Omega t - \sin\Omega t) - \\ - \frac{F_c}{\omega_1 M_1(x_0)}\left\{\frac{\Omega\sin\omega_1 t - \omega_1 \sin\Omega t}{\Omega^2-\omega_1^2}\right\} \qquad (5)$$

Con:

$$M_1(x_0) \equiv \rho A \int_0^L X_1^2 dx \div X_1^2(x_0) \qquad (6)$$

donde $M_1(x_0)$ es una masa equivalente para una viga que es impactada en el punto x_0. Se debe tener en cuenta que cuando el punto de impacto se acerca a un apoyo fijo donde el desplazamiento es casi nulo, la masa equivalente crece y se vuelve infinitamente grande. Como el período de contacto π/Ω es corto en comparación con el período del modo fundamental de vibración, la función sen ω_1t se puede aproximar directamente a ω_1t mientras el proyectil que colisiona está en contacto. Después de sustituir esta aproximación en la ecuación anterior, tenemos:

$$\delta(t) = V_0 t - \\ - \frac{F_c}{M'\Omega^2}\left\{\frac{(M_1-M')\Omega^2 - M_1\omega_1^2}{M_1(\Omega^2-\omega_1^2)}\right\}(\Omega t - \sin\Omega t) \qquad (7)$$

En este punto, la relación fuerza - muesca para una geometría de contacto particular y la profundidad de muesca δ es sustituida en la ecuación donde las funciones de tiempo t y sen Ωt son resueltas por separado.

Para el caso no lineal de la relación fuerza profundidad de muesca, considerando la ecuación no lineal resultante de la viga dinámica con la hipótesis de contacto de Hertz, Lee (1940) adoptó una aproximación para la función sinusoidal, tal que (sen Ωt)2/3 es aproximadamente igual a 1.093 sen Ωt

Para el período de contacto esta aproximación da un impulso igual al del pulso hertziano. Con esta aproximación, reordenando:

$$\frac{1.093M'\Omega^2}{\kappa_s^{2/3}F_c^{1/3}} = \frac{M'V_0\Omega}{F_c} = B(\Omega) \quad (8)$$

Esta igualdad da la frecuencia Ω y la amplitud de la fuerza F_c mediante:

$$\Omega = \left\{\frac{\kappa_S^2 B^2(\Omega)V_0}{1.306M'^2}\right\} \quad (9)$$

y

$$F_c = \kappa_s \left(\frac{V_0}{1.093\Omega}\right)^{3/2} \quad (10)$$

Para un contacto esférico entre cuerpos elásticos, la rigidez es:

$$\kappa_s = 4/3\ ER^{1/2} \quad (11)$$

Mediante estas expresiones es posible determinar el período del impulso o tiempo del impacto y la fuerza de contacto.

5. RESULTADOS ANALITICOS

Teniendo en cuenta lo desarrollado en el párrafo anterior, se particulariza considerando el caso del análisis experimental realizado. Es decir, el caso de una viga simplemente apoyada de acero (E = 210000 MPa), de sección cuadrada de 12.5 mm de lado, con una luz libre de 762 mm, la cual es impactada por un proyectil esférico en el centro de la luz. Se toman dos tamaños de proyectiles, de diámetros 47.4 mm y 37,0 mm respectivamente. Los mismos se dejan caer de 3 alturas diferentes, 300, 500 y 1000 mm. Para cada caso se obtienen la fuerza de contacto y el tiempo de impacto

En la siguiente tabla se resumen los resultados de los diferentes casos.

Tabla 1. Resultados del modelo analítico para los diferentes ensayos

Ø Proyectil mm	H mm	*Fc* KN	timpac ms
47.4	1000	47.59	0.065
	500	28.30	0.070
	300	19.29	0.074
37.0	1000	33.71	0.057
	500	22.24	0.061
	300	16.37	0.064

6. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

En primer lugar, se observa que se han podido desarrollar los ensayos y se ha obtenido repetitividad en los mismos, lo cual prueba que la metodología experimental empleada es adecuada.

Si se comparan los resultados experimentales con los resultados analíticos se aprecia que las fuerzas de contacto determinadas analíticamente son mayores que las registradas.

Por ejemplo, para el caso de una caída de 300 mm del proyectil de 555 gr, la fuerza de contacto registrada es de 7.2 KN, y el modelo analítico predice un valor de 19.29 KN. Sin embargo, el tiempo de impacto según el modelo analítico es de 0.074 ms, mientras que el tiempo de impacto registrado es de 0.21 ms. Sería razonable pensar que a mayor tiempo de impacto exista una disminución de la Fuerza de contacto. Con lo cual se podría decir que el modelo analítico subestima el tiempo de impacto, por lo cual la fuerza de contacto resulta mayor.

Esto mismo se presenta en todos los ensayos, donde los tiempos de impacto registrados son mayores que las predicciones analíticas.

Los tiempos de impacto registrados, tanto experimentales como analíticos, no presentan variaciones apreciables para las diferentes alturas de caída.Si se observa los gráficos experimentales para el caso del proyectil de 441 gr, prácticamente los tiempos de impacto no cambian.

Si se observa el cociente entre la fuerza de contacto experimental durante el impacto y el peso del proyectil de 555 gr para una caída de 1000 mm este es de 3900, para 500 mm es de

2200 y para 300 mm es 1300. De la misma forma si se determina la relación entre la fuerza de contacto y el peso del proyectil de 441 gr, los valores son similares. Por ejemplo,si tomamos una caída de 300 mm, la fuerza de contacto registrada es 2200 veces mayor que el peso del proyectil.

Se puede apreciar en los gráficos de los resultados experimentales que en todos los ensayos se registra un pico de la fuerza de contacto y a continuación un pico menor, este segundo corresponde a que el proyectil rebota y vuelve a caer. Este efecto se observa en todos los ensayos realizados.

7. BIBLIOGRAFIA

Stronge W. J. (2004). “IMPACT MECHANICS”. Cambridge UniversityPress

FiengoPerez F. (2020)¨Hormigon de Alta Resistencia reforzado con Fibras bajo cargas de Impacto¨. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología. UNT

Yoo DY, Banthia N. (2019). ¨Impact resistance of fiber reinforced concrete – A review¨. Elsevier

Banthia N, Mindness S, Bentur A, Pigeon M. (1989)¨Impact testing of concrete using a drop weight impact machine¨ Experimental Mechanics 29 - Springer

FiengoPerez F, Dip O, Sfer D, Luccioni B. (2018). “Respuesta de Vigas Metálicas sometidas a Impacto”. Mecánica Computacional Vol.XXXVI – AMCA.

TECNOLOGÍAS BÁSICAS Y APLICADAS

Diagnóstico sobre los pilares de Abastecimiento Responsable en una empresa de frutilla de Tucumán

Bello, Berta E.[1]; Chauvet, Susana B.[1];Albarracín, Patricia M.[2]

(1) Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán. ebello@herrera.unt.edu.ar; schauvet@herrera.unt.edu.ar

(2) Facultad Regional Tucumán, Universidad Tecnológica de Tucumán. palbarracin@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN

Debido a los crecientes hechos de violaciones a las normas de medio ambiente, de ética comercial, de los derechos humanos y laborales, las empresas deben prevenir verse involucradas en esos eventos de sus proveedores para lo que deben desarrollar una política de Abastecimiento Responsable para sus proveedores, previa determinación del estado de situación sobre el cumplimiento de los 3 pilaresde Abastecimiento Responsable: Medio ambiente, Ética Comercial y Gestión Social. Para ello, se conformó una metodología que consta de una lista de verificación de cada pilar, evaluando cada pregunta en: “Cumple”, “Cumple parcial” y “No cumple”, asignándole una ponderación de 1, 0,5 y 0, respectivamente. Al aplicar la metodología a una Frutillera Tucumana se determinó un grado de cumplimiento total de un76%, siendo el pilar de Ética comercial el de mayor debilidad con un33% de cumplimiento, pudiéndose determinar un plan de acción para solucionar las debilidades. La herramienta es muy útil para determinar el estado de situación deuna empresa, antes de implementar el Abastecimiento responsable a sus proveedores.

ABSTRACT

Due to the increasing violations of environmental, business ethics, human and labor rights regulations, companies must prevent being involved in these events of their suppliers, for which they must develop a Responsible Supply policy for their suppliers, prior determination of the status of compliance with the 3 pillars of Responsible Supply: Environment, Business Ethics and Social Management. For this, a methodology consisting of a checklist for each pillar was created, evaluating each question in: "Complies", "Partially complies" and "Does not comply", assigning a weighting of 1, 0.5 and 0, respectively. . When applying the methodology to a Tucumana producer of strawberries was determined a total compliance degree of 76%, with the pillar of Business Ethics being the one with the greatest weakness with 33% compliance, being able to determine an action plan to solve the weaknesses. The tool is very useful to determine the situation status of a company, before implementing Responsible Sourcing to its suppliers.

Palabras claves:Abastecimiento Responsable – Medio Ambiente – Ética Comercial – Gestión Social

Keywords: Responsible sourcing – environment – business ethics – social management

1. INTRODUCCION

En la actualidad se encuentran noticias sobre distintos abusos en el ámbito laboral, como por ejemplo: En el diario La Nación sobre “El trabajo Infantil en el agro afectaría a casi 41.000 niños en el país” (La Nación, 2019); en la Voz “El dueño de una fábrica de ladrillos esclavizaba a 21 víctimas de trata” (La Voz, 2022), en Página 12 en conmemoración al día de la Mujer publicó un artículo “8M: una radiografía del INDEC sobre desigualdad laboral y previsional de las mujeres” (Pagina 12, 2022), simular “Brecha salarial: un varón gana 27% más que una mujer” (Miranda, 2021), entre otras. De igual manera, se encuentra noticias sobre temas ambientales, por ejemplo: En

el país se habla de “el calentamiento avanza y se acerca a los límites de seguridad que fija el Acuerdo de Paris” (Planelles, 2022); en el Clarín en su artículo “Olor a podrido y contaminación: denuncian a tres frigoríficos de Tigre y San Fernando” (Niebla, 2022); en el Tucumano hay una noticia sobre “La historia sin fin: ¿Quiénes y porque queman caña de azúcar en Tucumán?” (Sibaja, 2020). Los artículos mencionados hacen referencia a incumplimiento de los derechos del niño, violando la ley 26390 del año 2008, donde en Argentina se prohíbe el trabajo infantil; la violación al trabajo decente con salarios dignos, seguridad social, que hace referencia la ley 20744 artículo 17 que prohíbe cualquier tipo de discriminación entre los trabajadores por motivos de sexo, raza, nacionalidad, religiosos, políticos, gremiales o de edad. Con respecto a las noticias ambientales, se estaría incumpliendo el Acuerdo de Paris, sobre el calentamiento mundial, también la ley provincial 8912/77 que rige el ordenamiento del territorio de la provincia de Buenos Aires donde se establece las cortinas forestales para minimizar el impacto ambiental y en el caso de quema de caña de azúcar se viola la ley provincial 6253 de Tucumán.

En la actualidad cada empresa tiene la responsabilidad de gestionar de manera meticulosa su cadena de abastecimiento, para ello es importante crear alianzas con los proveedores a fin de garantizar productos y servicios fiables y no verse involucrados en eventos, como los mencionados, para lo que algunas empresas utilizan el enfoque de Compra o Abastecimiento Responsable. Antes del surgimiento de este nuevo concepto, sólo realizaban las compras centrándose, casi exclusivamente, en los parámetros de calidad. El abastecimiento responsable, hace referencia a otros aspectos como elementos de Responsabilidad Social Empresaria, la parte Ética y el Abastecimiento Verde, donde se incluye la parte ambiental. Es cuando una organización se abastece y adquiere de forma activa y consciente productos y servicios para sus operaciones de una manera ética, sostenible y socialmente consciente (Sedex, s.f.). Esto implica que cuando la empresa realice sus operaciones lo hagan de manera consciente y positiva centrándose en los pilares: del ambiente, de lo social y del comercio ético.

El pilar social es comprender la gestión laboral, que incluye el empleo de libre elección, el derecho a asociación, controlar el trabajo infantil y de jóvenes, salario y beneficios, horas de trabajo reguladas, discriminación, empleo regular, lagestión de salud y seguridad en el trabajo, ambiente laboral seguro e higiénico, con medidas para prevenir accidentes y riesgos en la salud, capacitación y acceso a instalaciones sanitarias limpias, agua potable, etc.

El pilar ético comercial o empresarial, implica que sus operaciones sean ejecutadas de forma ética, sin sobornos, corrupción u otro tipo de prácticas fraudulentas.

El pilar ambiental incluye aspectos de prevención ambiental, evaluación de aspectos e impactos ambientales tomando el principio de ciclo de vida, el tratamiento de efluentes, el almacenamiento y usos de productos peligrosos, emisiones al agua y al aire, etc.

Por estas razones, las empresas comenzaron a desarrollar mecanismos o procedimientos hacia el Abastecimiento Responsable y exigir a sus proveedores para no verse involucrados en eventos de incumplimientos, por el hecho de haberles adquirido bienes o servicios, previo a revisar su situación frente a los mismos pilares.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Las empresas al incorporar el nuevo enfoque de abastecimiento responsable deben poder identificar los productos o servicios en cada etapa de sus procesos y trabajar juntamente con el proveedor a fin de garantizar las condiciones de trabajo justas y prácticas ambientales. Para ello se analizó cada pilar y se conformó una lista de verificación con los requisitos que se deben tener en cuenta. Como se detalla a continuación.

Medio Ambiente:trata de identificar los aspectos ambientales y determinar aquéllos que tienen o pueden tener impactos significativos sobre el medio ambiente, por lo que se toma la Norma ISO 14001: 2004 y disposiciones Sedex. Los requisitos relevados se corresponden (López Sánchezet at., 2020) a:cuenta con una Política Ambiental documentada; se han determinado los requisitos legales y de otros tipos y se los mantiene actualizados; se verifica periódicamente el cumplimiento de los requisitos legales y otros tipos aplicables; cuenta con un responsable de los asuntos ambientales; cuenta con un procedimiento para identificar y evaluar los

aspectos e impactos ambientales, cuenta con una metodología para gestionar sus residuos; los residuos se disponen según los tipos y por tratadores autorizados; cuenta con un sistema para poder demostrar que dispone con los permisos relevantes; capacita al personal sobre las pautas asociadas al cuidado del medio ambiente; cuenta con documentación de la medición de los aspectos ambientales requeridos por ley; tiene un sistema de archivo de las inspecciones realizadas por el estado, con sus resultados y las acciones tomadas por incumplimiento; tiene establecidas metas u objetivos sobre temas relacionados al medio ambiente; se cuenta con procedimiento ante derrames de químicos, combustibles, etc.; se cuenta con un programa de emergencias ambientales y se hacen simulacros y; se capacita en los procedimientos de emergencias.

Ética Comercial: trata cuestiones como el soborno, la corrupción, la influencia indebida y los conflictos de interés. Se consideraron los siguientes requisitos (Campomanes Calleja, 2013): cuenta con una política de ética comercial sin sobornos, corrupción u otro tipo de práctica empresarial fraudulenta; conoce y cumple las leyes locales y nacionales sobre ética empresarial; cuenta con sistema transparente para denunciar las practicas éticas empresariales no éticas sin represalias; tiene designado un responsable de implementar las normas sobre Ética Empresarial; brinda capacitación al personal cuyos cargos conllevan más riesgos a estos tipos de prácticas; comunica la política a sus personas, a sus proveedor y clientes

Gestión Social: Para este pilar se analizaron 2 ramas: Gestión Laboral y Derechos Humanos y; Gestión de Salud y Seguridad

1)Gestión Laboral: son las prácticas y estándares de las empresas sobre los que una empresa debe proporcionar entornos de trabajo seguros y justos y mantener estándares claros en áreas como las prácticas de contratación, las condiciones generales de empleo y los salarios.

Se consideraron los siguientes requisitos (Sedex, s.f.): a) Derechos humanos: Tiene una política sobre su compromiso de respetar los derechos Humanos; comunica a todas las partes interesadas su compromiso; cuenta con una persona responsable en la implementación y el manejo de los impactos sobre los derechos humanos; capacita sobre derechos humanos a todas las partes interesadas.

b) Empleo de libre elección(Sedex, s.f.):cuenta con una política sobre la libre elección de empleo; permite a los trabajadores dejar su empleo voluntariamente sin castigo monetario; no hay clausulas en los contratos que restringen la renuncia de trabajador; podrá retirarse libremente de las jornadas laboral y sin demoras irrazonables; rechazar horas extras libremente; prohíbe la retención de la documentación del trabajador (DNI, Célula, pasaporte); hay acuerdo escrito sobre deducción debidamente firmada por el trabajador; existen procedimientos escritos sobre préstamos al personal, donde se detalle el monto y los términos.

c) Derechos a Asociación(Sedex, s.f.):cuenta con una política sobre el Derecho a asociación; los trabajadores tienen derecho a elegir sus propios sindicatos; pueden los trabajadores negociar de forma colectiva; se tiene conocimiento de las leyes gremiales; La empresa reconoce y negocia con los sindicatos correspondiente; no hay evidencia de despido de los miembros de sindicato.

d)Trabajo Infantil y Trabajadores Jóvenes: existe una política sobre el trabajo infantil; la política fue comunicada a los trabajadores y publicada; hay un sistema para revisar las edades de los trabajadores y de los contratistas; hay prohibición de trabajadores menores de 15 años o según la ley si la mínima es mayor; cuenta con registro de contratación y despidos de los últimos 12 meses de menores de edad.

e) Salarios y Beneficios: Los trabajadores reciban el salario mínimo legal; el salario se revisa periódicamente; hay un sistema para evaluar y asegurar que el salario sea justo; las horas extras se pagan de acuerdo con las disposiciones legales; se entregan los beneficios legalmente requeridos a Trabajadores; las deducciones permitidas por ley se calculan correctamente; los contratos de los trabajadores son guardados y archivados correctamente.

f) Horas Extras: existe una política sobre la jornada laboral; el método de registrar las horas es correcto y distingue las horas normales y las horas extras; hay control de que las horas normales y las horas extras no superen el máximo permitido por ley; hay registros que permita al

trabajador anotarse voluntariamente a las horas extras; hay control entre las horas registradas y las liquidadas: las horas extras están debidamente justificadas.

g)Discriminación: Existen políticas sobre no discriminación en por ejemplo el reclutamiento, remuneración, beneficios, capacitación, etc; en la práctica se cumple con las políticas establecidas; se cuenta con un proceso de reclutamiento, selección, desarrollo y finalización de la relación laboral sin situaciones de discriminación; cuenta con sistema para realizar reclamos en casos de eventos discriminatorios; se evidencia en la composición de la masa laboral la no discriminación por sexo o razones políticas

h) Empleo regular: la empresa cumple con el sistema de contratación en los términos que fija la ley; existe un sistema de control de los beneficios de seguridad social y de los pagos a los trabajadores; existe un sistema de control de trabajadores temporales, pasantes y empleo semipermanente; los contratos cumplen con requisitos legales; los trabajadores contratistas cumplen con los requisitos legales en sus contratos y en sus condiciones de trabajo; se cumple con el periodo probatorio.

i) Tratos Inhumanos o Severos: se cuenta con política o procedimiento sobre acciones disciplinarias; las políticas y procedimientos fueron comunicadas a todo el personal; se lleva control de registro de actividades de disciplina y reclamos, y la información sobre las acciones y resultados

2)Gestión de Salud y Seguridad: son las normas y las prácticas para proporcionar un entorno laboral seguro y saludables, relacionados a la seguridad, salud y bienestar del trabajar. Los requisitos que se tomarán en cuenta son (Guerra et at., 2021): cuenta con una política de Salud y Seguridad adecuados según su tamaño y complejidad; se cuenta con un procedimiento para hacer evaluación de riesgos del trabajo en los puestos de trabajo; se entrega los EPP según lo establecido por la Ley; se cuenta con procedimiento para el manejo de productos químicos; los equipos poseen los elementos de seguridad adecuados; se hacen controles de equipos sometidos a presión, se cuenta con procedimiento ante accidentes y lesiones; se cuenta con procedimiento frente a incendios y otras emergencias; se hacen simulacros y se aseguran de que participen todos los turnos; las máquinas y herramientas cuentan con su correspondiente mantenimiento; se hacen las mediciones legales: ruido, emisiones, etc.; se cuenta con mantenimiento de los equipos para trabajar en condiciones seguras; se capacita en los riesgos de higiene y seguridad; se cuenta con botiquines de seguridad; se hacen los controles de agua potable, según la legislación; se cuenta con un servicio de control de plagas y; se llevan registros de control de plagas.

Para cada pilar como se mencionó se evalúan distintos requisitos generando una cantidad de preguntas diferentes para cada pilar.

Con la Lista de Verificación se definió evaluar cada pregunta en la escala de:“Cumple”, “Cumple parcial” y “No cumple”, asignándole una ponderación de 1, 0,5 y 0, respectivamente.

Se calculó el porcentaje de cumplimiento global (%CG) con (1).

$$\%\ CG = \left(\sum Ci * pi\right) * \frac{100}{\sum Ci} \quad (1)$$

Donde:

Ci: cantidad de preguntas por cada ítem i

pi: ponderación

Luego se calculó el % de cumplimiento (%Cp) de cada pilar (p) según (2)

$$\%\ \mathrm{Cp} = \left(\sum \mathrm{Cip} * \mathrm{pi}\right) * \frac{100}{\sum \mathrm{Ci\,p}} \quad (2)$$

Donde:

Cip: cantidad de preguntas del pilar p, en ítems i

pi: ponderación

Tanto con el cálculo de (1) para % de cumplimiento global y con (2) para cada pilar se puedo determinar la línea de base de cumplimiento de una empresa a los fines de poder establecer un Plan de acción para mejorar su performance, antes de exigir a sus proveedores.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

El análisis de los requisitos de los tres pilares de Abastecimiento Responsablese realizó en una

empresa que produce frutillas, como fruta fresca y productos congelados de exportación como IQF (Individually Quick Frozen) y cubeteados, con el propósito de determinar su línea de base de cumplimiento, antes de comenzar a solicitar el cumplimiento a sus proveedores mediante el Abastecimiento Responsable.

Para completar las listas de verificación por cada pilar, se realizó a través de visitas y entrevistas a los directivos y empleados a fin de poder caracterizar el nivel de cumplimiento de cada pregunta de los distintos pilares. Con esta información se puede determinar la línea de base de cumplimiento de la empresa tomada bajo estudio.

En la Tabla 1 se presenta el total de preguntascalificadas según"Cumple", "Cumple parcial" y "No cumple".

Tabla 1.% de preguntas por calificación

Nivel de calificación	Nro.preguntas	%
"Cumple"	62	72
"Cumple parcial"	7	8
"No cumple"	17	20
Total	86	100

Con (1) se determinó el % de cumplimiento global según;

$$\%\ CG = \frac{(62x1+7\ x\ 0{,}5+17x0)}{86} X100 = 76\%$$

En tabla 2se presenta la cantidad de preguntas totales logradas de "Cumple", "Cumple parcial" y "No cumple" para el pilar medio ambiente.

Tabla 2. % de preguntas del pilar Medio ambiente

Nivel de calificación	Nro preguntas	%
"Cumple"	7	47
"Cumple parcial"	5	33
"No cumple"	3	20
Total	15	100

De igual manera en la tabla 3 se presentan los resultados para el pilar de ética comercial

Tabla 3. % de preguntas del pilar Ética Comercial

Nivel de calificación	Nro preguntas	%
"Cumple"	2	33
"Cumple parcial"	0	0
"No cumple"	4	67
Total	6	100

En tabla 4 se presenta la cantidad de preguntas totales logradas por cada calificación "Cumple", "Cumple parcial" y "No cumple", del pilar Gestión social

Con (2) para cada pilar se calculó el % de cumplimiento, cuyos resultados se vuelcan en la tabla 5, donde se pone en evidencia que su fortaleza está en el pilar Gestión Social y la debilidad en el Pilar Ética Comercial con un 33%.

Tabla 4. % de preguntas del pilar de Gestión Social

Nivel de calificación	Nro preguntas	%
"Cumple"	53	81
"Cumple parcial"	1	2
"No cumple"	11	17
Total	65	100

Del relevamiento y análisis de los datos, se puede concluir que la empresa si bien tiene un cumplimiento global de 76%, debe trabajar en los 3 pilares, mucho más en el Pilar de Ética Comercial.

Tabla 5. % de cumplimiento por pilar

Pilar	% Cumplimiento
Medio Ambiente	63
Ética Comercial	33
Gestión Social	82

En base al diagnóstico realizado a la empresa debe trabajar enel Pilar de Ética Comercial los siguientes requisitos:

1.- Crear un sistema para poder transparentar las denuncias de prácticas empresariales no éticas,

2.- Definir un responsable para la implementación de las normas de ética empresarial,

3.-Brindar capacitación y comunicar a sus proveedores, empleados y clientes la política de comercio ético.

Con esta herramienta selogró conformar una metodología para evaluar el grado de cumplimiento de los pilares de Abastecimiento Responsable en una empresa con la que se puede detectar las debilidades sobre las cuales se puede establecer los planes de acción para mejorar.

Esta herramienta puede ser utilizado en primer lugar por las empresas que desean implementar el Abastecimiento responsable a sus proveedores, para determinar su nivel de cumplimiento, para luego poder exigirlo.

Se trata de una herramienta que ha contemplado los 3 pilares sobre los que se evidenciaron las violaciones en los artículos de los diarios mencionados, y que le puede resultar muy útil al momento de prevenir para no verse involucrado como empresa, en eventos de esta naturaleza por origen de solo abastecerse de los proveedores que no cumplen.

4. CONCLUSIONES

Debido a los distintos hechos que involucran violación a las disposiciones y leyes de medio ambiente, de los derechos humanos, de las condiciones de trabajo, y de las políticas éticas, como el soborno, las empresas comenzaron a desarrollar procedimientos hacia el Abastecimiento Responsable, para no verse involucrados por el incumplimiento por haber adquirido bienes y servicios a sus proveedores.

En este caso, la empresa frutillera comenzó con el análisis de los nuevos requisitos de los tres pilares: Medio Ambiente, Ética Comercial y la Gestión Social. Se elaboró una lista de verificación, que fue completada por medio de las visitas y de las entrevistas a los directivos y empleados. Con la información de cumplimiento de la lista de verificación se calculó el promedio ponderado para obtener el % de cumplimiento total y luego el % cumplimiento de los pilares.

Con la metodología aplicada, se obtuvo qué el % de cumplimiento de total de los requisitos fue de un 76%, y su mayor debilidad se encuentra en el pilar de Ética comercial. Por lo tanto, la empresa deberá comenzar a trabajar en crear un sistema para poder transparentar las denuncias de prácticas empresariales no éticas, definir un responsable para la implementación de las normas de ética empresarial, brindar capacitación y comunicar a sus proveedores, empleados y clientes la política de comercio ético para luego poder exigirlo a sus proveedores.

5. REFERENCIAS

Licandro, O. (2016). Responsabilidad Social Empresaria. Reflexiones, investigaciones y casos. Editorial Grupo Magro.

Campomanes Calleja, E. y Diaz Marcos, L. (2013) Ética Empresarial: Ideas, Reflexiones y Casos (Management-Guías). Editorial Universitaria Ramón Areces.

Lopez Sanchez, N. y Hernandez Tinoco, J. (2020). Guía Básica Para La Implementación De La Norma ISO 14001: 2015: Incluye ejemplos ilustrativos (Spanish Edition).

Guerra et.al, (2021)Seguridad industrial y capacitación: un enfoque preventivo de salud laboral. Editor: Ing. Hugo Arias Flores, MBA Editorial de la Universidad Tecnológica Indoamérica. Quito – Ecuador.

Albarracín et.al. (2010). Evaluación de impacto ambiental de un Empaque de frutillas. Presentado en el Congreso V Congreso Iberoamericano de Ambiente y Calidad de Vida. 6to Congreso de Ambiente y Calidad de Vida. Catamarca.

Blanco Cordero, M. (2000). Gestión ambiental: camino al desarrollo sostenible. Ediciones Mundi-Prensa.

Fernández García, R. (2006). Sistemas de gestión de la calidad, ambiente y prevención de riesgos laborales: su integración. Editorial Club Universitario.

Organización Internacional de normalización. (2015). Sistemas de gestión ambiental. Requisitos con orientación para su uso (ISO 14001).

Ley Nº 26390 del año 2008. Prohibición de Trabajo Infantil y Protección de Trabajo Adolescente. Junio 24 de 2008.

Ley 20744 del año 1972. Ley de contrato de trabajo. 20 de setiembre de 1974.

Ley 24557 del año 1995. Ley sobre Riesgos del Trabajo.3 de octubre de 1995.

Acuerdo de París de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC). 2015.

Decreto - Ley 8912 de 1977. Ley de ordenamiento territorial y el uso del suelo. 24 de octubre de 1977

Ley N° 6253 de 1991. Ley Provincial de Medio Ambiente.
Decreto n° 2204/3 (MDP). Reglamenta el procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental. Decreto reglamentario 1955/9 (MDP).

Pacto mundial de las Naciones Unidas. Los diez principios. https://www.pactomundial.org/que-puedes-hacer-tu/.

Naciones Unidas. Objetivos de Desarrollo Sostenible. https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/

El trabajo Infantil en el agro afectaría a casi 41000 niños en el país. ((19 de agosto de 2019). La Nación. Recuperado de https://www.lanacion.com.ar/economia/campo/trabajo-infantil-agro-estiman-pais-afecta-150000-nid2278575/.

El dueño de una fábrica de ladrillos esclavizaba a 21 víctimas de trata. (21 de abril de 2022). La Voz. Recuperado de https://www.lavoz.com.ar/sucesos/el-dueno-de-una-fabrica-de-ladrillos-esclavizaba-a-21-victimas-de-trata/.

8M: una radiografía del INDEC sobre desigualdad laboral y previsional de las mujeres. (8 de marzo de 2022). Pagina 12. Recuperado de https://www.pagina12.com.ar/406543-8-m-una-radiografia-del-indec-sobre-la-desigualdad-laboral-y

Miranda, María. (8 de marzo de 2021). Brecha salarial: un varón gana 27% más que una mujer. El Destape. Recuperado de https://www.eldestapeweb.com/economia/dia-de-la-mujer/brecha-salarial-un-varon-gana-27-mas-que-una-mujer-2021380551

Planelles, M. (10 de mayo de 2022). El calentamiento avanza y se acerca a los límites de seguridad que fija el Acuerdo de Paris. El país. Recuperado de https://elpais.com/clima-y-medio-ambiente/2022-05-10/el-calentamiento-avanza-y-se-acerca-a-los-limites-de-seguridad-que-fija-el-acuerdo-de-paris.html

Niebla, K. (27 de abril de 2022), Olor a podrido y contaminación: denuncian a tres frigoríficos de Tigre y San Fernando. El Clarín. Recuperado de https://www.clarin.com/ciudades/olor-podrido-contaminacion-denuncian-frigorificos-tigre-san-fernando_0_D7yJhYy13e.html#:~:text=Estos%20desechos%20%E2%80%9Cser%C3%ADan%20arrojados%20por,en%20Pacheco%2C%20partido%20de%20Tigre.

Sibaja, S. (19 de julio de 2020). La historia sin fin: ¿Quiénes y porque queman caña de azúcar en Tucumán? El Tucumano. Recuperado de https://www.eltucumano.com/noticia/actualidad/265243/la-historia-sin-fin-quienes-y-por-que-queman-cana-de-azucar-en-tucuman

SEDEX. (https://www.sedex.com/es)

Análisis estacionario de configuraciones alternativas de la red eléctrica de 132 kV del área centro del sistema NOA

Campos, Aldo Leopoldo[1]; González, Jorge Augusto[1]; Vargas, Leonardo Randolfo[1]

(1) Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología. Universidad Nacional de Tucumán.
alcampos@herrera.unt.edu.ar; jgonzalez@herrera.unt.edu.ar; lrvargas@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN

En determinados momentos y áreas del sistema eléctrico de potencia (SEP) de 132 kV del Noroeste Argentino (NOA), se están alcanzando valores límites de capacidad de transmisión de energía eléctrica. Esta situación se debe principalmente a un atraso relativo en las inversiones necesarias y en la habilitación de obras de infraestructura, en relación con el crecimiento observado de los valores de la demanda eléctrica en ciertas zonas. Se plantea, por lo tanto, la necesidad de profundizar los análisis existentes para flexibilizar las condiciones de operación, modificando, por ejemplo, la configuración de las redes de transmisión para asegurar el abastecimiento a la demanda aún bajo condiciones de alta exigencia, como la que resulta en elevadas temperaturas. En este artículo se analizan, mediante estudios de tipo estacionarios en el modelo de la red eléctrica de 132 kV, configuraciones alternativas a las usuales, para una de las áreas críticas por su mayor vulnerabilidad y concentración de demanda: la del centro y sur de la provincia de Tucumán y oeste de la provincia de Catamarca. Se obtienen diferentes resultados usando estudios de flujo de carga sobre las alternativas planteadas, una de las cuales se podría utilizar en condiciones de alta demanda eléctrica.

ABSTRACT

At certain times and areas of the 132 kV electrical power system (SEP) of Northwest Argentina (NOA), limit values of electrical energy transmission capacity are being reached. This situation is mainly due to a relative delay in the necessary investments and in the qualification of infrastructure works, in relation to the observed increase in the values of electrical demand in certain areas. Therefore, there is a need to deepen the existing analyses to make the operating conditions more flexible, modifying, for example, the configuration of the transmission networks to ensure the supply to the demand under highly demanding conditions, such as the one that results in high temperatures. In this article, alternative configurations to the usual ones are analysed, using stationary studies on the model of the 132 kV electrical network, for one of the critical areas due to its greater vulnerability and concentration of demand: the center and the south of the province of Tucumán and west of the province of Catamarca. Different results are obtained using load flow studies on the planned alternatives, one of which could be used in conditions of high electrical demand.

Palabras clave: Sistemas de potencia - Operación de sistemas eléctricos – Flujo de Carga

Keywords: Power systems - Electrical systems operation – Load Flow

1. INTRODUCCIÓN

Es un hecho conocido por los operadores del SEP argentino que la Red de Distribución Troncal de energía eléctrica de 132 kV del NOA alcanza límites operativos de su capacidad nominal aún en condiciones N (se encuentran en servicio las correspondientes líneas de transmisión, transformadores y generadores) en zonas específicas, en particular durante los períodos estivales, cuando la demanda de potencia eléctrica se incrementa de manera considerable debido fundamentalmente a los requerimientos de climatización de los hogares. Esta afirmación puede comprobarse en diversos documentos y estudios antecedentes del sector, como se muestra en la Guía de Referencia del Sistema de Transporte por Distribución Troncal (2020). Tal situación obliga al operador a efectuar restricciones a la demanda para evitar sobrecargar al equipamiento existente bajo determinadas condiciones de Carga – Generación de la Red, lo cual puede corroborarse

en diferentes reportes del sector (EDET SA y ERSEPT, 2022).
Una de las zonas críticas donde se puede verificar esto, es la constituida por el Área Centro y Sur del Sistema NOA. La misma presenta líneas de transmisión eléctrica de132 kV que operan con altos niveles de flujo de potencia durante gran parte del día, por lo que la Empresa responsable del abastecimiento eléctrico realiza maniobras para mantener el sistema en condición segura. Con el objetivo de minimizar las restricciones de demanda a los usuarios en condiciones de alta exigencia hasta tanto se produzca el ingreso de las obras que aporten soluciones duraderas en el mediano y largo plazo, en este trabajo se llevan adelante estudios adicionales a los ya existentes y tradicionales presentados en los informes periódicos de las empresas transportistas del sector. Estos estudios contemplan nuevas configuraciones que permitirían mejorar las condiciones operativas e incrementar la flexibilidad de maniobras, a los fines de soportar las mencionadas exigencias.
Los estudios estacionarios sobre el SEP existente, posibilitarán obtener una primera evaluación sobre la factibilidad técnica de las configuraciones alternativas propuestas.

2. METODOLOGÍA

La evaluación del desempeño de las configuraciones de Red a adoptar para un área del Sistema de Potencia deberá tener en cuenta que los valores de tensión en barras de 132 kV resulten dentro de márgenes aceptables y que no se produzcan sobrecargas del equipamiento existente (líneas y transformadores), procurando a la vez que las solicitaciones queden convenientemente distribuidas. Además, se deberá evaluar y cuantificar las debilidades en cuanto a seguridad de abastecimiento.
Si bien el control y seguimiento de la operación del Sistema existente en tiempo real (on time) brinda información relevante, la simulación computacional (off time) se muestra en este caso como una herramienta indispensable al momento de evaluar la flexibilidad necesaria para las condiciones más exigentes. Por tal motivo, se implementó en un programa computacional de tipo comercial (DIgSILENT Power Factory) el modelo de la Red del Sistema NOA con adecuación de los elementos eléctricos cargas, generadores, líneas, transformadores y shunts, para estar en condiciones de realizar estudios de tipo estacionario (flujo de carga y cortocircuito).
Los estados de carga y generación se ajustan para modelar las condiciones del Escenario Pico o Máxima Demanda Eléctrica del período 2022-2023, en base a datos suministrados por la Empresa de Distribución Eléctrica de Tucumán (EDET SA). Sobre este Escenario, considerado como base al representar el estado normal de operación y con red completa, se realizan estudios de sensibilidad, evaluando las variaciones de algunos valores eléctricos (flujos de potencia activa y módulos de tensión de barras) producidos por los cambios de configuración propuestos, manteniendo constante el resto de las variables de control.

3. CARACTERÍSTICAS DEL PROGRAMA COMPUTACIONAL

El software de simulación usado es el Power Factory de la empresa DIgSILENT GmbH (2014). Es una herramienta de ingeniería que permite el análisis de redes industriales, de transmisión y distribución, con aplicación en las etapas de planificación y operación. Su implementación se encuentra muy difundida y comprobada en la región del NOA. Se permite a partir de un entorno integrado, la definición y organización de casos, la "customización" de los formatos de salida de la información. Esto da la posibilidad al usuario de ejecutar las funciones principales: flujos de carga, cálculo de cortocircuitos, análisis de contenidos de armónicos, coordinación de protecciones, estabilidad dinámica y análisis modal, a través de una única base de datos, en la que se especifican todos los datos que definen cada equipo, por ejemplo, líneas, generadores, protecciones y sistemas de control.

4. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA CENTRO DEL SISTEMA NOA

El Sistema Eléctrico del NOA está formado por las siguientes áreas:
- Área La Rioja: Provincia de La Rioja.
- Área Catamarca (valle central): comprende la provincia de Catamarca y parte del sur de Tucumán.
- Área Centro: comprende el centro y del sur de la provincia de Tucumán y el oeste de Catamarca.
- Área Santiago: Provincia de Santiago del Estero.
- Área Norte: Provincias de Salta y Jujuy.

Cada área presenta particularidades en su configuración eléctrica y en particular el Área Centro es la que concentra la mayor demanda (aproximadamente 30 % de la demanda total del Sistema NOA). Se interconecta con el Área Santiago mediante las líneas de 132 kV, El Bracho – Termas Norte y El Bracho – La Banda Este de 300 mm^2 de sección y la línea Villa Quinteros – Río Hondo (data del año 1969) presentan conductores de 150 mm^2 de sección. Como límite operativo se aplica el límite térmico de los conductores que es de 415 A (amperes). El corredor Independencia – Agua Blanca – Villa Quinteros – Aguilares – Escaba (data del año 1956) presentan conductores de 172 mm^2 de sección. Como límite operativo se aplica también el límite térmico de los conductores que es de 500 A. En el corredor Escaba – Los Pizarro – Huacra – Valle Viejo - Catamarca los conductores son de 150 mm^2 de sección y admiten 415 A.

En Fig. 1 se puede visualizar el Área Centro, sobre un esquema unifilar geográfico de una porción del Sistema NOA. En Fig. 2 se muestra el detalle del área metropolitana de Tucumán. Estas figuras fueron extraídas de la Guía de Referencia del Sistema de Transporte por Distribución Troncal (2020).

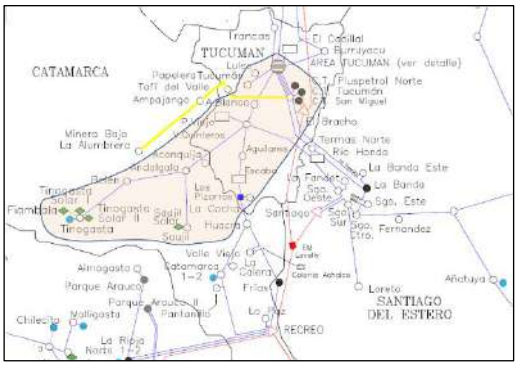


Figura 1: Porción de análisis del SEP región NOA.

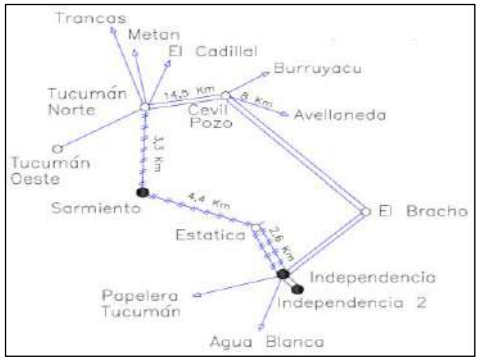


Figura 2: Detalle del área metropolitana Tucumán.

Las estaciones transformadoras (EETT) del Oeste catamarqueño (Aconquija, Andalgalá, Saujil, Belén y Tinogasta) constituyen un área radial vinculadas desde ET Villa Quinteros mediante LAT Villa Quinteros – Aconquija.

4.1 *Generación instalada en el Área Centro*

En relación a los generadores instalados en el área se destaca:

- CT Independencia, en ET Independencia: grupos TG 1 y TG 2 de 60 MVA, TG 3 y TG 4 de 50 MVA, cuyo despacho depende de la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico Sociedad Anónima (CAMMESA) y de la disponibilidad de gas.
- El autogenerador Ing. Santa Bárbara en ET Aguilares: grupo TV de 16,2 MVA (generación renovable de biomasa). Disponible solo en temporadas de zafra azucarera, en función de la disponibilidad de bagazo.
-El autogenerador Ing. La Providencia en ET V. Quinteros: grupo TV de 10 MVA (generación renovable de biomasa). Sólo en temporadas de zafra azucarera.
- CH de pasada Pueblo Viejo: 2 grupos de 7,7 MVA. Normalmente solo un grupo en servicio al mínimo técnico, por condiciones de hidraulicidad.
- CH Escaba: 2 grupos de 8 MVA. Su uso depende de la hidraulicidad.
- Generación renovable fotovoltaica (parques fotovoltaicos PFV), por un total de 66 MW de capacidad, distribuidos de la siguiente forma: en ET Tinogasta, PFV Fiambalá Solar (11 MW), PFV Tinogasta I (15 MW), PFV Tinogasta II (7 MW) y TINZFV (10 MW); en ET Saujil, PFV Saujil Solar (23 MW). Esta generación es no despachable (de naturaleza intermitente).
- Generación Diesel en ET Tinogasta: 20 grupos Diesel de 0,8 MVA. Ingresa como generación forzada para control de tensiones e intercambio LAT Agua Blanca – Independencia.

Es decir que, si bien existe una importante capacidad de generación renovable fotovoltaica en las EETT del Oeste catamarqueño, la misma no permite una potencia firme con el que se pueda contar para el abastecimiento de la demanda. La generación de origen hidráulico ha venido operando a niveles de mínimo técnico en el último período, debido a factores de origen climático. La generación renovable de biomasa, pertenece a los Autogeneradores ingenios azucareros, por lo cual su despacho depende de los ciclos productivos de

los mismos. En cuanto al despacho de la generación de grupos diesel, se recurre solo como medida de último recurso, debido a sus altos costos operativos, lo que plantea cuestiones contractuales específicas de compleja resolución.
Lo anteriormente descripto constituye una situación de factores combinados que implican una insuficiencia de generación para el abastecimiento de la demanda, en circunstancias determinadas.

4.2 *Problemática operativa en el Área Centro*

La problemática operativa preponderante en el Área Centro se relaciona con las sobrecargas de las líneas doble terna (DT) de 132 kV El Bracho - Independencia e Independencia – Agua Blanca, llevando a que aún en condiciones N de la Red se deba recurrir a restricciones de demanda en horas Pico de los períodos estivales. En Fig. 3 se destacan estas líneas sobre un esquema unifilar.
La línea de 132 kV Independencia – Agua Blanca abastece no solo a las EETT V. Quinteros y Aguilares, sino también a las del oeste catamarqueño, operando con altos niveles de intercambio durante la mayor parte del día, a diferencia de la línea V. Quinteros – Río Hondo que opera con bajos niveles de carga.
La debilidad estructural del Área Centro – Sur implicó por ejemplo que la Transportista regional haya tenido que adoptar como modalidad operativa, abrir el anillo 132/500 kV entre las EETT El Bracho y Recreo, mediante la apertura de LAT 132 kV Aguilares – Escaba. Esto lleva a que, en lugar de incrementar la tendencia a un sistema mallado y redundante, se deba operar con un Sistema segmentado con mayor vulnerabilidad y riesgo para el abastecimiento de la demanda.
Las EETT que cuentan con doble juego de barras en 132 kV como Independencia o Villa Quinteros, poseen interruptor de acoplamiento de barras. Esta configuración de barras en nodos del Sistema donde confluyen dos o más líneas, permiten su segmentación y reconfiguración para determinadas condiciones.
En razón del diferimiento de los plazos de ingreso al Sistema de las obras necesarias, en particular la línea DT 132 kV El Bracho – Villa Quinteros, ha tornado necesario profundizar el análisis de posibilidades de transferencias de demandas o cambios de configuración, bajo las hipótesis de alta demanda y baja disponibilidad de generación en el área. Se pretende comprobar mediante escenarios de simulación los perfiles de tensión resultantes en la Red, así como el estado de carga del equipamiento para estos cambios y configuraciones propuestas.

5. HIPÓTESIS NECESARIAS PARA EL MODELO

5.1 *Sobre el escenario a modelar*

Para la evaluación de la performance operativa del Área NOA Centro se decidió tomar como base el Escenario Pico de demanda del verano 2022 – 2023, sin que estén incluidas las obras futuras proyectadas. Sobre este Escenario se realizan casos de flujos de carga que contemplan un cambio de configuración (apertura y cierre de líneas de transmisión, apertura y cierre de interruptores de acoplamientos de barras), manteniendo constantes las condiciones de carga y generación, mientras se observa cómo impacta la modificación realizada en los valores de flujos por las líneas críticas y en las tensiones de barras.
La elección del caso Pico de demanda implica la asunción de las hipótesis más desfavorables para la simulación, con lo que puede deducirse que, bajo otras condiciones de demanda y generación, como escenarios de Resto y Valle (demanda mínima), las configuraciones propuestas serán también viables.

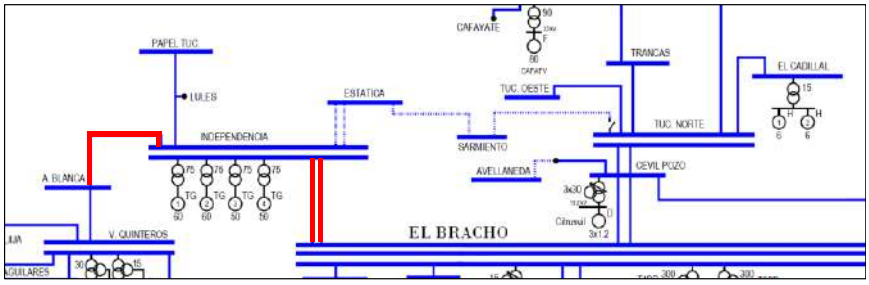


Figura 3: Esquema Unifilar, porción del Área Centro del Sistema NOA. Se destacan en rojo las líneas doble terna El Bracho – Independencia e Independencia – Agua Blanca.

5.2 *Sobre el parque de generación*

Respecto del ajuste de los niveles de generación en el área, se consideraron los criterios de despacho económico del Sistema Argentino de Interconexión (SADI) y de seguridad de operación. Esto implica que los flujos de carga en las líneas de transmisión se deben ubicar dentro de los límites considerados aceptables y seguros ante la posibilidad de condiciones N-1 (con indisponibilidad de un elemento de la Red).
La generación de las Centrales Hidráulicas se considera en niveles de mínimo técnico, y la generación de las Centrales Fotovoltaicas se considera fuera de servicio, a los fines de simular las solicitaciones más exigentes para el Sistema.

5.3 *Sobre la demanda del Sistema*

Las demandas eléctricas de la Provincia de Tucumán fueron tomadas a partir de registros de máximos históricos aportados por la empresa EDET. Las demandas para el resto del Sistema fueron tomadas de la Guía de Referencia del Sistema de Transporte por Distribución Troncal, (TRANSNOA, 2020).
Los escenarios de carga simulados a partir de los datos ingresados, pueden ser confirmados con los reportes operativos del sector que publica periódicamente CAMMESA, (CAMMESA,2023).

5.4 *Sobre las condiciones operativas requeridas*

Los criterios operativos del SADI para régimen estacionario que deben verificarse, son:
-Tensiones admisibles en condiciones normales; en 132 kV, ±5%; en 500 kV, ± 3%.
-Tensiones admisibles en condiciones de emergencia; en 132 kV, ± 10%; en 500 kV ± 5%.
-Energía reactiva de los generadores dentro de su diagrama de capabilidad, preferentemente en la región de sobrexcitación.
-La potencia transportada por las líneas de interconexión es admisible por debajo de los límites establecidos, de acuerdo a los criterios de operación estática, dinámica y de confiabilidad del Sistema de Transporte.
-Transformadores sin sobrecarga.
Los límites admisibles para las tensiones en barras definen los márgenes dentro de los que se pueden ajustar las barras de tensión controlada. Por ejemplo, para este análisis, en barra 132 kV El Bracho se adopta 138,6 kV, que corresponde a una tensión de 105% de su valor nominal.

Desde el punto de vista del estudio de flujo de carga, es posible definir como barra de tensión controlada aquella en la que se encuentre un gran volumen de generación, como en El Bracho. En este tipo de barra el usuario define el nivel de tensión y la potencia activa que aportarán los grupos, mientras que de la rutina de cálculo se obtiene como resultado el aporte de reactivo necesario y el ángulo de la tensión, (Singh, 2013).
En el otro extremo de la banda de tensiones permitidas se menciona como ejemplo la barra de carga de 132 kV Aguilares. En las barras de carga el usuario del programa de flujos de carga especifica la demanda como potencia activa y reactiva y del cálculo se obtiene el módulo y ángulo de la tensión resultante. La barra 132 kV Aguilares será en el análisis subsiguiente, una barra testigo en la que se procura que la tensión sea no menor al 95% de la tensión nominal.

6. CASOS DE FLUJOS DE CARGA

En Fig. 4 se muestra un recorte del resultado de la simulación de flujo de carga obtenido para el caso base. Se denominará a este caso como “1P(n)” para poder establecer luego una tabla comparativa de alternativas. Se observa que a pesar de tener una tensión en la barra El Bracho de 138,6 kV (fuera de la figura), un 5% encima de la nominal, la tensión en Aguilares resulta en 123,6 kV, un 6% menor a la nominal. Las demandas de Agua Blanca, Villa Quinteros y Aguilares son abastecidas principalmente por línea Independencia – Agua Blanca, cuyo intercambio es de 113 MW. El intercambio por línea Villa Quinteros - Río Hondo (esta barra no se observa en la figura) es de 25 MW.
Se simula una nueva configuración que da como resultado el caso denominado “2P(n)”, mostrado como un recorte en Fig. 5. En el mismo se adopta un cambio de configuración que consiste en la apertura del interruptor de acoplamiento de barras de ET Villa Quinteros y una redistribución de los campos de 132 kV, lo que permite distribuir de manera más apropiada las cargas entre las líneas que abastecen el área. El flujo de potencia activa por línea Independencia – Agua Blanca es ahora de 83 MW y por línea Río Hondo – Villa Quinteros de 38 MW. Se observa una leve mejora en el nivel de tensión en la barra Aguilares (124,7 kV). La distribución de campos en ET Villa Quinteros por barra 132 kV queda de la siguiente manera:

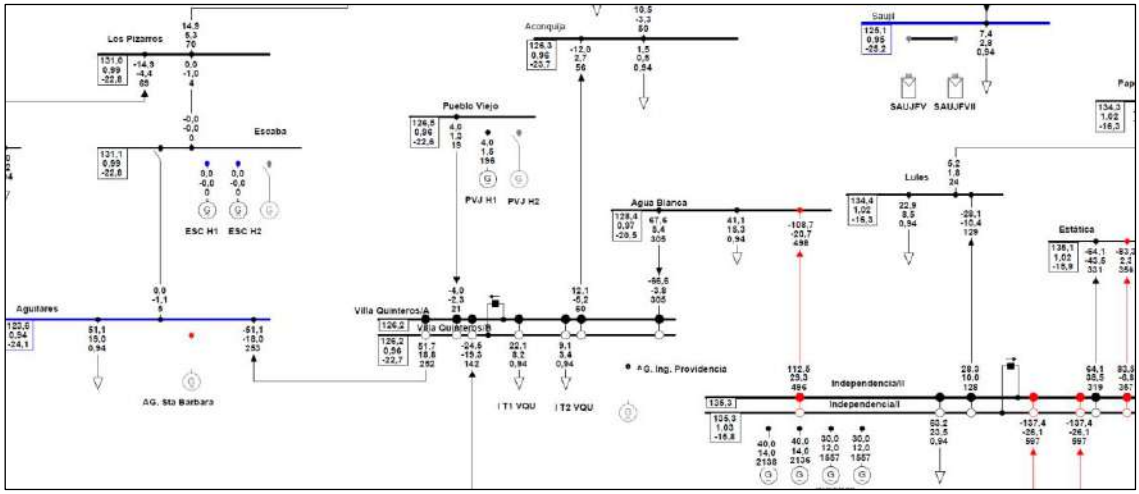


Figura 4: Recorte del resultado obtenido para el Caso 1P(n)

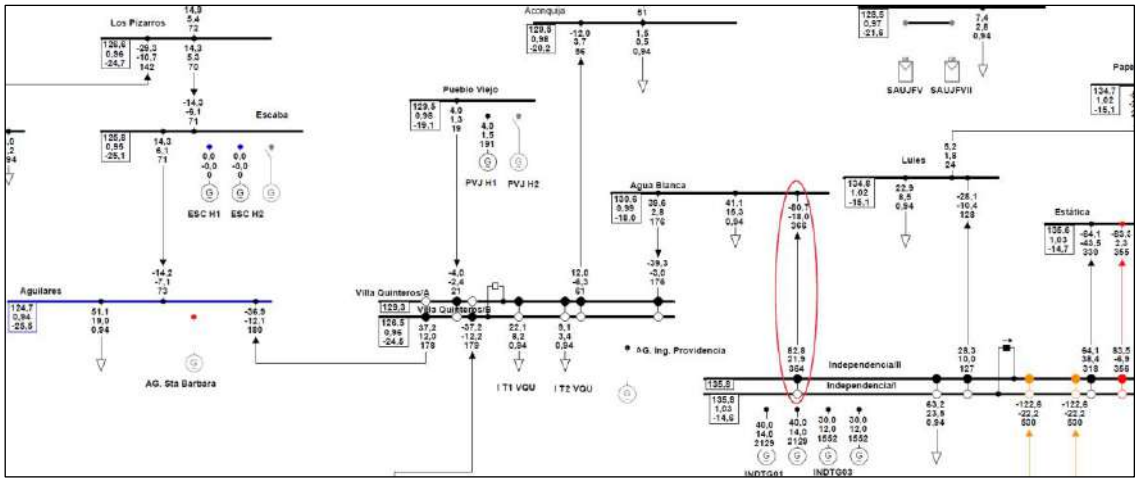


Figura 5: Recorte del resultado obtenido para el Caso 2P(n)

- Barra A: salida Agua Blanca, salida Aconquija, salida Pueblo Viejo, Transformador N° 1 y Transformador N° 2.
- Barra B: salida Río Hondo y salida Aguilares.

Este cambio de configuración mejora las condiciones operativas al disminuir los intercambios en LAT Independencia – Agua Blanca y DT El Bracho – Independencia y mejorar la tensión en ET Aguilares.

Se plantean y analizan otras diversas alternativas, de las cuales solo se muestran dos. En la alternativa denominada "3P(n)", Fig. 6, se transfiere toda la demanda de la ET Aguilares al área Sur en el nivel de 132 kV, mediante el cierre de la línea Aguilares – Escaba y la apertura de línea Aguilares – V. Quinteros. Esta alternativa implica dificultades en el control de tensión en el Área Sur o la necesidad de efectuar restricciones de demanda en ET Aguilares. Las tensiones resultan fuera de la banda normal de calidad tanto en ET Recreo (por exceso) y en ET Aguilares (por defecto). Esta configuración solo sería admisible en condiciones operativas de emergencia.

En la alternativa denominada "4P(n)", Fig. 7, se plantea el cierre del anillo entre Áreas Centro y Sur, mediante el cierre de línea Aguilares - Escaba. Esta maniobra, si bien mejora las tensiones en ET Aguilares, no implica una disminución sensible en el intercambio de línea DT El Bracho – Independencia ni en línea Independencia – Agua Blanca.

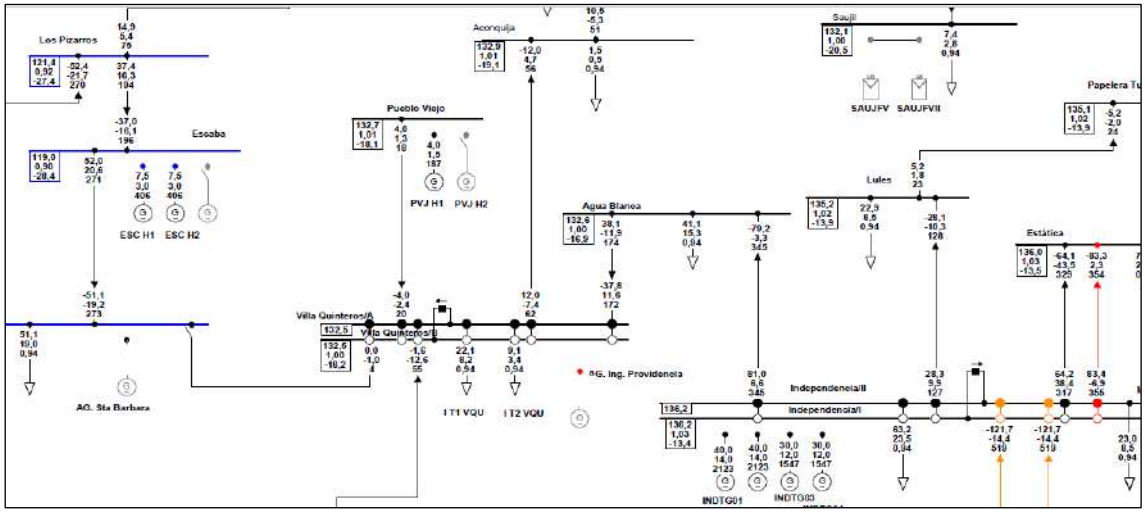


Figura 6: Recorte del resultado obtenido para el Caso 3P(n)

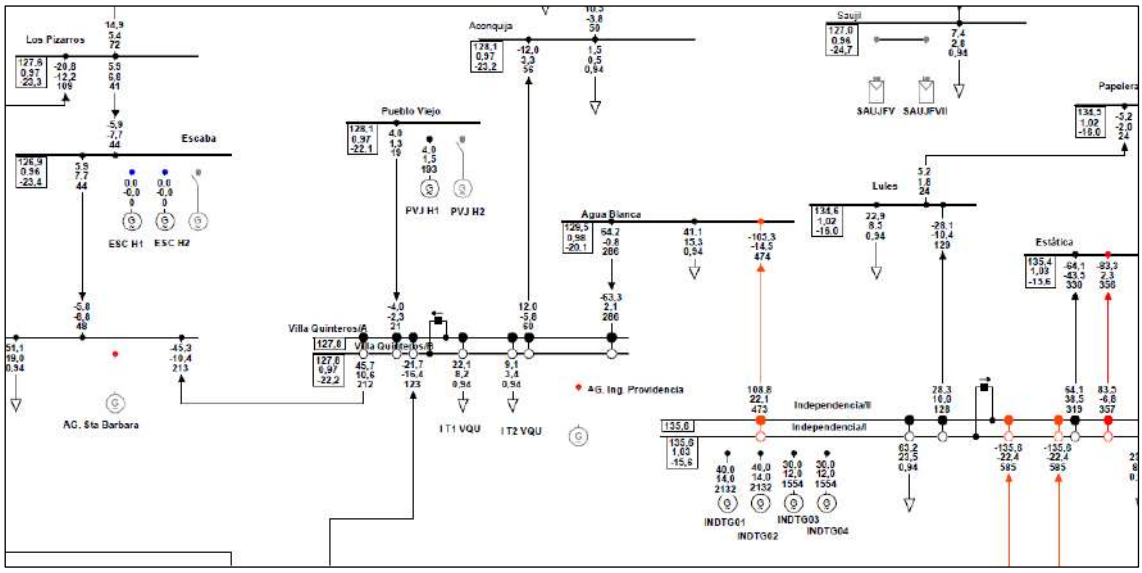


Figura 7: Recorte del resultado obtenido para el Caso 4P(n)

Con el modelo base de la red eléctrica, es posible plantear con relativa facilidad nuevas alternativas que contemplen, por ejemplo: transferencias de demanda, redistribución de salidas de líneas 132 kV en EETT que cuenten con doble juego de barras como V. Quinteros, estrategias de control del lado de la demanda, o incluso simular un esquema de restricciones que permita disminuir intercambios por líneas de 132 kV. En la tabla 1 se resumen para las cuatro alternativas vistas, los estados de carga resultantes de las líneas cuyo intercambio se quiere controlar.

Tabla 1. Resumen de resultados de casos de Flujos de Carga y Estados de carga en líneas de interés.

Casos Flujos de Carga	**% de cargas líneas 132 kV**	
Caso 1P(n)	DT El Bra. – Indep.	99,5%
	Indep. – Agua B.	99,6%
Caso 2P(n)	DT El Bra. – Indep.	88,3%
	Indep. – Agua B.	72,8%
Caso 3P(n)	DT El Bra. – Indep.	86,5%
	Indep. – Agua B.	69%
Caso 4P(n)	DT El Bra. – Indep.	97,5%
	Indep. – Agua B.	94,8%

7. CONCLUSIONES

Los estudios eléctricos de tipo estacionario realizados para un área del Sistema de Potencia de la región NOA, permitieron analizar diversas alternativas de configuración posibles de ser realizadas en condiciones de alta demanda e insuficiencia de generación, con el objetivo de minimizar las consecuencias del agotamiento de la capacidad del sistema de transmisión en 132 kV a los usuarios. Es posible entonces evaluar los efectos en la operación y en la topología resultantes.

Respecto del área en particular analizada, se puede concluir que, de los cambios de configuración propuestos, la alternativa 2P(n) posibilitaría mejorar en alguna medida la operación del sistema bajo exigencia, ya que se gana en distribución de cargas sin implicar riesgos adicionales para la Red, ni maniobras complejas del equipamiento, ni inversiones significativas. En las otras alternativas no se evidencia una mejora clara de la operación del sistema.

Si bien los estudios de simulación se centraron en un área de interés de una región en particular, se pueden extraer algunas conclusiones de carácter más general para el análisis de los SEP:

- En los sistemas que operan bajo condiciones de alta exigencia en sus límites de capacidad, la simulación de flujos de carga resulta una alternativa valiosa para plantear cambios de configuración que permitan disminuir impactos en la demanda.
- La operación de los sistemas debe ser cada vez más flexible y dinámica, aún bajo condiciones de alta exigencia.
- La flexibilidad operativa, a partir del análisis de configuraciones alternativas, puede llevar a disminuir los efectos del diferimiento de las inversiones en obras de infraestructura.
- La realización de este tipo de análisis requiere de un profundo conocimiento de los componentes de los SEP y sus características operativas, de la disponibilidad y manejo de un software de simulación de calidad comprobada (como el que se usó aquí) y del dominio de los fundamentos teóricos que los sustentan.

8. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los profesionales del sector Planificación de la Gerencia Técnica de la Empresa EDET SA, que aportaron información y análisis enriquecedores para el presente trabajo.

9. REFERENCIAS

CAMMESA (29 de enero de 2023). *Tensiones y Flujos de Potencia Activa del NOA*. Recuperado de https://cammesaweb.cammesa.com/operacion/#opreglamentos.

DIgSILENT (2014). *User Manual*. DIgSILENT Power Factory.

EDET SA. (03 de diciembre de 2022). *Motivos de bajas de tensión y cortes de servicio*. Recuperado de https://www.edetsa.com/info/pwa/blog/GetAlert/60-motivos-de-bajas-de-tensión-y-cortes-de-servicio.

ERSEPT (03 de diciembre de 2022). *Cortes programados por insuficiencia en el Sistema de Transporte*. Recuperado de http://ersept.gob.ar/index.php/usuarios/cortes-programados.

Singh R., Singh J. (2013). Power System Security Using Contingency Analysis for Distributed Network. *International Journal of Engineering Research & Technology*. Vol 2. Issue 4.

TRANSNOA SA (2020). *Guía de Referencia del Sistema de Transporte por Distribución Troncal del NOA*. b.0: Descripción del Sistema Actual. b.7: Inversiones Necesarias.

Laboratorio Remoto aplicados a la enseñanza de la programación de microcontroladores

Cano, Jesús Eduardo[1]; Beltramini, Paola Inés[1];Ocampo, Alejandra Irupé[1]; Nieva, Valentín[1]

(1) Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional de Catamarca. jecano@tecno.unca.edu.ar; pbeltramini@tecno.unca.edu.ar ; aiocampo@tecno.unca.edu.ar

RESUMEN

En los tiempos que corren las tecnologías que denominamos el Internet de las Cosas (IoT) comienzan a ser usadas también en los ámbitos académicos, configurando un nuevo contexto conocido como la Educación 4.0, donde estas tecnologías se destacan por su aporte innovador para mejorar el proceso de enseñanza aprendizaje. Nuestro proyecto de investigación denominado "Estudio de factibilidad de Laboratorio Remoto para la formación experimental en las asignaturas de ciencias y tecnologías básicas de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la UNCA" pretende indagar la posibilidades de desarrollar laboratorios remotos de bajo costo a partir de la utilización de la gran variedad de placas de microcontroladores y de sensores que se disponen actualmente, escenario que conduce a un sinfín de posibilidades de construcción de estos laboratorios. En este artículo se presentan los fundamentos de una arquitectura de red para un laboratorio remoto genérico y asociándolo al desarrollo de un experimento de acceso remoto para la programación y experimentación de un sistema embebido de bajo costo en el marco de la asignatura Sistemas Lógicos II de la carrera de Ingeniería Electrónica de la UNCA.

ABSTRACT

Nowadays, the technologies that we call the Internet of Things (IoT) are also beginning to be used in academic fields, setting up a new context known as Education 4.0, where these technologies stand out for their innovative contribution to improve the process. of teaching learning. Within this framework of action, our research project called "Remote Laboratory Feasibility Study for experimental training in the subjects of basic sciences and technologies of the Faculty of Technology and Applied Sciences of the UNCA" aims to investigate the possibilities of developing remote laboratories of low cost from the use of the wide variety of microcontroller boards and sensors that are currently available, a scenario that leads to endless possibilities for the construction of these laboratories. This article presents the fundamentals of a network architecture for a generic remote laboratory and associating it with the development of a remote access experiment for the programming and experimentation of a low-cost embedded system within the framework of the Logical Systems II course of the UNCA Electronic Engineering career.

Palabras claves: laboratorio – remoto – IOT – arquitectura de red

Keywords:laboratory – remote – IOT – network architecture

1. FUNDAMENTOS

La pasada pandemia de Covid-19 aceleró el proceso de transformación de una educación completamente presencial a una educación a distancia, o mejor aún, a una modalidad híbrida entre los dos modelos. En particular la formación práctica con su preeminencia experimental en cuanto a las habilidades a desarrollar por los estudiantes, representa un desafío para la educación a distancia, ya que descontando los múltiples trabajos de investigación que demuestran la potencialidad de los laboratorios remotos (LR) en cuanto a participación y motivación, el desarrollar las plataformas y

asociarlas a un contexto de aprendizaje representa una asociación aún por establecer.

Nuestro equipo de investigación ha analizado los LR disponibles en Internet e indagando en la bibliografía, presentamos los fundamentos de una arquitectura de red para un LR genérico para asociarlo al desarrollo propio consistente en un experimento de acceso remoto para la programación y experimentación de un sistema embebido de bajo costo en el marco de la asignatura Sistemas Lógicos II de la carrera de Ingeniería Electrónica de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la UNCA.

1.1 *Avances en la Educación y en la Tecnología*

A lo largo de los últimos años tanto los avances en las teorías didácticas como en las denominadas TICS nos permiten relacionar una educación del siglo XXI a partir de la evolución de las redes de comunicación.

El envío y recepción de datos a través de redes informáticas ha evolucionado con el tiempo. En sus inicios, a partir de la segunda mitad del siglo XX, con la primera red informática: la ARPANET (Advanced Research Projects Agency Network) que interconectó varios departamentos de investigación en los Estados Unidos para permitir la transmisión de datos clasificados y militares, le siguió el desarrollo de la Internet con la creación de la World Wide Web (WWW), cuando se conecta una gran cantidad de computadoras que permite a usuarios de todo el mundo acceder a información distribuida desde servidores. Una tercera etapa sería la Internet Móvil en la que los dispositivos móviles (celulares, tablets, etc.) lograron la conectividad y velocidad de acceso. En paralelo surge la conexión de pares, es decir las personas se conectan entre sí, y además el usuario de la red también puede subir información a las plataformas servidoras, produciendo una gran revolución a través de una vía de doble sentido en la comunicación y abastecimiento de información (redes sociales, blogs, wikis, etc.). Finalmente, en la quinta fase surge el Internet de las Cosas, cuando los objetos cotidianos se envuelven con una capa digital y se agregan a Internet, es decir, son capaces de interactuar con personas y otros. Es así que objetos, sensores y dispositivos conectados por sistemas de comunicación y soportados por una infraestructura de información brindan servicios agregados como ser: Automatización del hogar; Dispositivos portátiles; Automatización industrial; Vigilancia de la salud; Seguimiento de las actividades deportivas; Laboratorios y experimentos de bajo costo, etc.

En el contexto del último tema de aplicación de IoT mencionado anteriormente, ha habido un crecimiento reciente, a raíz de la pandemia de Covid-19, que ha llevado a varias instituciones educativas a introducir actividades de formación práctica en la modalidad de educación a distancia.

Particularmente el desafío de formar a los estudiantes, principalmente en los cursos de las áreas de ciencia, ingeniería y tecnología, solo se adquieren a través del uso práctico en los laboratorios, la alternativa viable sería el uso de laboratorios remotos. Según VILELA et al (2019), un laboratorio remoto permite realizar experimentos reales, desde cualquier lugar, en cualquier momento, a través de una interfaz de control remoto, permitiendo a un usuario con acceso a Internet configurar equipos experimentales e iniciar un experimento, que puede ser observado en tiempo real en la pantalla de una computadora que recibe las imágenes captadas por las cámaras locales.

Al brindar un laboratorio remoto, una institución educativa puede optimizar el uso de este recurso educativo: tenerlo disponible las 24 horas del día, cualquier día de la semana, atendiendo a una mayor cantidad de estudiantes con posibilidad de acceder a un laboratorio y realizar sus experimentos en horarios alternativos y en cualquier lugar, con el único requisito de tener acceso a una computadora o celular conectado a Internet.

Adicionalmente se facilita el acceso de aquellos alumnos que pretendan rehacer los experimentos en tiempos alternativos; los conceptos aprendidos en las clases teóricas son fijados e implementados en la práctica de forma autónoma por los alumnos; se realizan experimentos básicos sin requerir grandes recursos computacionales.

Los avances en los sistemas de comunicación juegan un papel fundamental en las prácticas educativas actuales (ver Tabla 1), ya que son los encargados de brindar plataformas de aprendizaje a distancia a través de diferentes técnicas de aprendizaje, considerando el uso de recursos en

línea, cursos en línea abiertos y masivos, laboratorios remotos, redes y bibliotecas digitales, entre otros.

En este contexto, con la popularización de IoT y el surgimiento de la Educación 4.0, el desarrollo de laboratorios remotos se ha vuelto más simple y económico, lo que deberá contribuir a que más estudiantes tengan acceso a estas tecnologías educativas, aumentando las posibilidades de desarrollar habilidades esenciales y necesarias para su capacitación.

Tabla 1. Avance de la Tecnología y la Educación

Período	Características y Facilitadores
Educación 1.0 Finales del siglo XVIII	• Mecanización de sistemas y Centrado en maestro • Máquina de fabricación de papel, impresión mecánica, lápiz de grafito, bolígrafo, máquina de escribir
Educación 2.0 Principios del siglo XX	• Industrialización y electricidad, Educación por correspondencia, por transmisión, Centrado enmaestro • Dispositivos como impresora, calculadora y primeras computadoras
Educación 3.0 finales del siglo XX	• Acceso a Internet, centrado enmaestro e iniciativas centradas en los estudiantes • Uso computadora, material en línea e intercambio de información, simulación y el aprendizaje híbrido
Educación 4.0 En la actualidad	• TIC que funcionan con IoT y Principalmente centrado en el estudiante • Instalaciones innovadoras, métodos de aprendizaje basados en tecnología y el Desarrollo de competencias básicas

Ante la evolución de las tecnologías IoT y la expansión del concepto Educación 4.0, en la última década se han desarrollado varias plataformas experimentales con acceso remoto. Sin embargo, la realización de nuestro abordaje se justificará por sus características innovadoras en cuanto a: arquitectura simplificada, uso de dispositivos de bajo costo y menor necesidad de apoyo local o remoto para llevar a cabo actividades experimentales.

El momento histórico que estamos viviendo en esta tercera década del siglo XXI, nos introduce en la denominada Educación 4.0, un período en que la educación introduce métodos de enseñanza y aprendizaje e instalaciones innovadoras, alineadas con las tecnologías emergentes con el fin de preparar a los estudiantes para enfrentar problemas globales, regionales o locales, actuales y futuros (Miranda et al , 2019).

Según estos autores la era de la Educación 4.0 está impulsada por cuatro elementos: implementación de las TIC actuales y emergentes, incorporación de nuevos métodos de aprendizaje, creación de instalaciones innovadoras para mejorar los procesos de aprendizaje y desarrollo de competencias esenciales en los estudiantes.

Este trabajo se relaciona con el concepto de Educación 4.0 mediante el uso de tecnologías IoT, al contribuir a la creación de espacios innovadores para el aprendizaje, promover el aprendizaje activo de los estudiantes y, principalmente, al proponer la implementación y uso de un laboratorio remoto.

1.2 *Laboratorios de Enseñanza Experimental*

Existen muchas clasificaciones para la enseñanza con laboratorios. Teniendo en cuenta que se define como un laboratorio a “un lugar dotado de los medios necesarios para realizar investigaciones, experimentos, prácticas y trabajos de carácter científico, tecnológico o técnico; está equipado con instrumentos de medida o equipos con los que se realizan experimentos, investigaciones y prácticas diversas, según la rama de la ciencia a la que se dedique” (extraído de Wikipedia), expandimos su estudio con una clasificación que tiene en cuenta la forma de acceso y la estructura física de la experimentación. Tendremos así cuatro posibilidades: Acceso local y estructura real,

acceso local y estructura virtual, acceso remoto y estructura virtual; y finalmente lo que nos interesan que serían los de acceso remoto y estructura física real.

En detalle las cuatro clasificaciones tienen características claramente diferenciadas:

1. Experimento real con acceso local – Son los laboratorios prácticos tradicionales, donde el estudiante está frente a una computadora o instrumento conectado al experimento real.

2. Experimento simulado con acceso local: todo el entorno se desarrolla a través de un software y la interfaz de experimentación funciona en un recurso simulado, virtual y físicamente inexistente, instalado en una computadora.

3. Experimento real de acceso remoto: se accede al experimento real a través de Internet. El usuario opera y controla remotamente un experimento real a través de una interfaz de experimentación. Este enfoque se denomina laboratorio remoto.

4. Experimento simulado de acceso remoto – Esta forma de experimentación es similar a la anterior, pero reemplazando el sistema físico por un modelo matemático. El alumno opera con la interfaz de experimentación en un sistema virtual al que accede a través de Internet. Esto es lo que comúnmente se conoce como un laboratorio virtual.

En nuestro caso el propósito es indagar en las posibles arquitecturas de implementación de un experimento real de acceso remoto, por lo que presentamos en el siguiente ítem un estudio de las mismas.

1.3 *Arquitectura de Red de LR existentes*

De la indagación en la bibliografía y en los LR que se ofrecen en la actualidad se pueden inferir diferentes arquitecturas de red. Basándonos en la propuesta realizada en Kalúz, (2015) podemos identificaral menos cinco arquitecturas que varían en relación con las estructuras de hardware y software utilizadas, pero respetando siempre una Arquitectura Cliente – Servidor (ACS) común en todos (ver Fig.1):

1- ACS con software de control – Experimento: es la que se ilustra en la parte superior de la figura (caso 1). En esta arquitectura existe una conexión directa entre un PC (Personal Computer) y el experimento. El PC cumple la función de servidor, dispone de software propio para la comunicación con el cliente y también para el control del experimento, y de los puertos necesarios para la conexión con el experimento. Estas soluciones de software comerciales (MATLAB, LabVIEW, etc.) incrementan el costo final del LR pero tienen la ventaja de su baja dificultad de implementación.

2- ACS con software de control – Tarjeta DAQ – Experimento: es el caso 2 en la figura. La diferencia con el caso 1 es que entre el servidor y el experimento hay una tarjeta DAQ (Adquisición de datos) necesaria cuando no es posible interconectar directamente el servidor con el experimento. Además, esta configuración de hardware generalmente reduce los requisitos del software de procesamiento de señales incluido en el servidor, pero aumenta el costo de los elementos físicos que constituyen el experimento.

3- ACS con SCADA – PLC – Experimento: En esta arquitectura (caso 3), hay una combinación de un sistema SCADA (en inglés Supervisory Control and Data Acquisition System) y un PLC (en inglés Programmable Logic Controller) que se caracteriza por su alto costo debido al uso de software y hardware comercial, sin embargo, el esfuerzo y tiempo requerido para su implementación es mínimo posible.

4- ACS – SBC – SBM o FPGA – Experimento: Esta arquitectura se diferencia de las demás por el uso de componentes económicos, siendo conocida como arquitectura de bajo costo. Se basa en SBC (computador de placa única), SBM (microcontrolador de placa única) o FPGA (Field Programmable Gate Array), como se ilustra en el caso 4. Los componentes físicos empleados en esta arquitectura tienen costo muy inferior al del hardware industrial, pero exigen un mayor esfuerzo en la implementación del software, ya que deben desarrollarse para cada solución específica. Sin embargo, en nuestro caso de los laboratorios remotos, este esfuerzo podría usarse didácticamente como parte integral del aprendizaje de los estudiantes de las carreras de ingeniería en el desarrollo de software y firmware.

5- ACS pero con servidor Proxy – Nodos de Laboratorio – Experimentos

Esta arquitectura, también conocida como arquitectura ramificada, proporciona una mayor capacidad de conexiones posibles en comparación con otras. No se ilustra en la figura, pero sería una combinación de todas donde los servidores se conectan a la red local a través de un servidor Proxy para administrar las conexiones de diferentes clientes a diferentes nodos de laboratorio. Cada nodo generalmente consta de un servidor local equipado con software y hardware apropiados para la adquisición de datos y un experimento. La principal ventaja de esta arquitectura es que gestionar el acceso de los usuarios a través de un servidor proxy permite ubicar nodos de laboratorio en lugares distantes entre sí.

Nuestro equipo de investigación viene hace algunos años indagando alternativas para la enseñanza de las prácticas de laboratorio, por lo que ubicándonos definitivamente en la procura de desarrollar la opción que denominamos LR presentamos en la siguiente sección nuestro desarrollo que se ubica en la arquitectura del caso 4 de los vistos arriba.

Figura 1: Diferentes arquitecturas de LR, adaptado de Kalúz (2015)

2 DESARROLLO DE LR DE ENSEÑANZA DE PROGRAMACION DE SISTEMAS EMBEBIDOS

2.1 *Descripción*

Se describe el diseño y desarrollo de un laboratorio remoto que consta de una página web que presenta un entorno de programación, donde el usuario debería ser capaz de escribir código, compilarlo y ejecutarlo en un microcontrolador real.

El laboratorio deberá ser capaz de programar diversas placas, tanto de la familia de los SBM (Arduino, Adafruit, STM, NodeMCU, LPC, etc.) como de las FPGA.

En la actual etapa de desarrollo podemos ubicar la arquitectura desarrollada dentro del caso 4, pero en lugar de alojar el software en un computador de placa única como se dijo en nuestra clasificación, se utilizó un PC disponible en nuestro grupo de investigación. Allí se alojaron y configuraron los software de servidor y además de los programas para controlar y visualizar el experimento. Se aclara que no se realizaron aún las configuraciones necesarias para permitir usuarios desde Internet, configurándolo y probándolo únicamente en un entorno de red de área local (LAN). Explicado esto en los siguientes ítems se presenta la descripción de las etapas de

programación del PC y el hardware, es decir, la Comunicación con el cliente/usuario, el control del experimento y el hardware o experimento en sí.

2.2 *Comunicación con el cliente*

Se logró la creación de una página web que servirá de soporte para interfaz del usuario y la programación. Se utilizó el XAMPP que es un paquete de software libre creado por la organización "Apache Friends" disponible en https://www.apachefriends.org/es/index.html. Por lo tanto, dispusimos de un servidor web Apache con protocolo HTTP (Hypertext Transfer Protocol, 'protocolo de transferencia de hipertextos') de código abierto, que nos permite crear una página web, a través de la cual se transfieren archivos mediante las solicitudes que se hacen al servidor. Se eligió XAMPP por su fácil utilización para crear servidores con Apache, y porque cuenta con las herramientas que necesitamos, entre ellas PHP, que es un lenguaje de programación "Backend" con el cual podemos manejar las solicitudes con el servidor y los archivos que necesitamos.

La aplicación web fue programada en HTML, PHP, CSS y JavaScript. Con HTML(Lenguaje de Marcas de Hipertexto, del inglés HyperText Markup Language) se da una estructura a la página web, con PHP (Hypertext Preprocessor)se programan las funcionalidades que se encargan de enviar y recibir la programación hecha por el usuario, y la ejecución de los archivos "batch" o por lotes (para que se realicen las tareas automatizadas de cargar, compilar y ejecutar la programación del usuario).

Con JavaScript utilizaremos lo que se conoce como Framework, es decir, una librería en la cual existen funciones ya creadas por sus desarrolladores que nos permiten simplemente utilizarlas en vez de crear funcionalidades desde cero. Para el entorno de codificación del usuario recurrimos a ACE (disponible en https://ace.c9.io/) un editor de códigos para páginas web que nos otorga las herramientas para hacer un editor de textos en el lenguaje de programación que necesitemos, incluye corrector de sintaxis, numeración de líneas de código, que nos permite poder brindar al usuario un lugar claro de programación y detectar dónde están sus errores a la hora de codificar.

Con CSS (del inglés Cascading Style Sheets) conseguimos darle un "estilo a la página web", es lo que nos permite modificar tamaños, colores, animaciones de cualquier objeto en nuestra página web, para hacer un entorno visual más amigable e intuitivo para el usuario. Nosotros utilizamos Materialize CSS,disponible en https://materializecss.com/, que es un Framework que cuenta con una herramienta muy importante, que es el darle la característica de "Responsive" a los elementos de la página. Esta herramienta lo que nos permite es que los elementos de la página varíen su tamaño según el dispositivo en el que se esté accediendo (por ejemplo, desde celulares).

2.3 *Control del Experimento*

La herramienta que utilizamos es el MCUXPresso IDE (disponible para descarga en https://www.nxp.com/design/software/development-software/mcuxpresso-software-and-tools-/mcuxpresso-integrated-development-environment-ide:MCUXpresso-IDE), que es un entorno de programación que nos otorga todas las herramientas necesarias para programar la placa que utilizaremos para nuestro prototipo, que es la LPC1769 (NXP, 2013). Cabe recalcar que, si bien nosotros utilizamos esta placa para este prototipo, la realidad es que el laboratorio remoto sería capaz de programar cualquier placa que se programe con MCUXPresso IDE fácilmente. Dentro del IDE, existen aplicaciones que nos permiten cargar, compilar y ejecutar código sin necesidad de ingresar al programa.

Por último, utilizamos un programa YawCam (disponible para descarga en https://www.yawcam.com/), que se encarga de capturar mediante webcam la ejecución de nuestro programa en la placa, lo que le permitirá al usuario observar la ejecución de su código en la placa en tiempo real.

Con el MCUXPresso IDE mediante el "headless mode" podemos compilar y cargar el código a la placa a través de comandos de terminal; para automatizar esta tarea se creó archivos por lotes (conocidos como .bat); de manera tal que baste con ejecutar estos archivos para que automáticamente se generen los archivos de compilación, compile y en caso de no tener errores se ejecute el programa en la placa.

De manera similar, se crearon archivos capaces de enviar mensajes a través del puerto serial a la

WeMos D1 mini, de esta forma, según el dato recibido, la placa actuará enviando voltaje a los pines que correspondan, simulando la presión de un botón, para que envíe el nivel alto a los pines correspondientes de la placa LPC1769.

2.4 *Experimento*

El experimento físicamente consiste en actuar sobre dos placas que se usan para la ejecución de los programas que los estudiantes deben crear para cumplir las consignas de trabajo. Estas placas son las siguientes:

LPC1769: Esta es la placa que se busca programar mediante la aplicación, que utiliza MCUXPresso IDE para cargar, compilar y ejecutar el código que recibirá desde el servidor. Esta placa estará conectada mediante un puerto USB al PC de manera tal que permanecerá alimentada y se podrán cargar el programa de manera sencilla.

WeMos D1 mini: Esta pequeña placa que se programa mediante el IDE de Arduino, la utilizaremos como "botonera". En pocas palabras, es la placa que se encarga que desde la aplicación web, podamos simular una interacción con la LPC1769, como lo es el simular la pulsación de un botón, la detección de un sensor, etc. Esta placa estará conectada mediante otro puerto USB al HOST, y se comunicará mediante el puerto serial, para enviar y recibir los comandos necesarios para "accionar" el "botón" correspondiente, que luego recibirá la LPC1769.

Otra parte del Hardware en la cual no entraremos en detalles es la webcam, que es con la que visionaremos desde la aplicación web la ejecución de nuestro programa cargado.

3 PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DEL LR

Los pasos para la puesta en funcionamiento del LR consistieron en dos:el diseño de la página y la programación de los archivos por lotes.

3.1 *Diseño de la página*

En primer lugar, desde la aplicación Xampp se habilita nuestro servidor apache, se prueban y ven los aspectos del entorno de programación web para el usuario utilizando las herramientas previamente mencionadas. Se puede observar nuestro entorno en la fig. 2 donde queda evidenciado que al ser los objetos "responsive" nos aseguramos de que todo entre en la pantalla correctamente sin recortes.

Podemos ver también cómo el primer archivo cargado, que es de programación C se llama "basic" y contiene la "plantilla" para empezar a programar, incluidaslas librerías necesarias, y definido nuestro "main", los pines de la placa LPC que están conectados, y el cómo están conectados. Con esta información el usuario sabrá qué pines de entrada y salida debe utilizar según su proyecto.

Figura 2: Captura de pantalla del entorno de programación web del LR

Podemos ver en la parte de abajo de nuestro entorno de programación, los botones y sus acciones. Cada acción está realizada en PHP. El botón de guardar se encarga de almacenar el archivo en nuestro servidor, es necesario que se guarde el archivo antes de poder ser compilado y ejecutado. El nombre del archivo guardado tendrá el nombre que indique el usuario en la parte superior del entorno de programación. El botón de cargar se encarga de cargar y mostrar en el entorno de programación un archivo que previamente haya guardado el usuario, de esta manera puede recargar un código que haya hecho previamente para continuar con su trabajo, o si simplemente quiere hacer otra prueba con su código, sin necesidad que empiece a programar desde cero. Cabe recalcar que nunca se podrá guardar un archivo con el nombre de "basic.c" ya que esto sobrescribiría la plantilla base de nuestro programa. Si el usuario intenta guardar un archivo con ese nombre, se mostrará un mensaje de alerta en la pantalla, indicando que debe elegir otro nombre. Los botones de compilar y ejecutar, se encargan de ejecutar los archivos por lotes correspondientes.

3.2 *Archivos por lotes "*.bat"*

El diseño de los archivos por lotes, encargados de la automatización de cada acción de interactuar con las placas. Para la placa LPC1769, se crearon dos archivos. Uno se encarga de la compilación, y otro se encarga de la ejecución. La codificación en ambos casos se hace según lo indicado en el manual de usuario de MCUXPresso IDE desde la línea de comandos como se indica en NXP (2018). Para la placa WeMos D1 mini, solo creamos un archivo, que se encarga de enviar al puerto serial donde está conectada la placa, un número. Según el número que se envíe a la placa, la placa seteará los pines de salida en 1 o 0 según corresponda. De esta manera es que podemos simular los botones con un simple archivo por lotes.

Cuando se compila el programa, la página esperará a que el programa MCUXPresso IDE termine de compilar el programa, y devolverá los resultados de compilación, que serán mostrados en la parte inferior de la página al usuario, así podrá ver si hubo algún error en la compilación y corregir el código si hiciese falta. Cuando la compilación fue correcta, se permite ejecutar el programa, de manera tal que el archivo por lotes correspondiente se encargará de enviar el código compilado a la placa.

Para ver la ejecución del programa solamente basta con presionar el botón "ver" para que se lleve a la página donde se verá la placa a través de la webcam (ver fig. 3). Nuevamente podemos observar que los tamaños de la página se modifican según la resolución de pantalla. Debajo de la imagen de la cámara donde se puede observar la placa, tenemos botones. Cada botón se encarga de ejecutar el archivo por lotes correspondiente, que se encarga de enviar por puerto serial la señal que simule una presión de un botón a la WeMos D1 mini. Con esto podemos hacer los experimentos que el usuario necesite para comprobar que el código funciona correctamente.

Figura 3: Captura de pantalla del entorno web con la visualización mediante webcam del LR

4 CONCLUSIONES

El trabajo realizado nos ha permitido demostrarnos que la experimentación remota es posible con herramientas accesibles sin grandes costos de hardware o software comercial, y con la intervención de nuestros estudiantes que realizaron gran parte de la programación arriba demostrada, lo que nos ha dado la posibilidad del desarrollo en un bajo costo y como herramienta

de aprendizaje para los estudiantes investigadores.

La investigación ahora se orienta a la realización de las guías didácticas para el aprendizaje de los futuros usuarios, la instalación de los servidores en una CBS (se adquirió una raspberry Pi) y agregar experimentos utilizando protocolos de comunicación IOT, como LORA.

5 REFERENCIAS

Kalúz M., García-Zubía J., Fikar M. y Čirka Ľ., Una arquitectura flexible y configurable para laboratorios remotos de control automático (2015). *IEEE Transactions on Learning Technologies.* v. 8, n. 3, págs. 299-310, https://ieeexplore.ieee.org/document/7004856

MICHAELIS. Michaelis - Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/busca?r=0&f=0&t=0&palavra=laboratório>. Acesso em: 18 maio 2022.

Miranda J., López C.S., NavarroS., BustamanteM.R., MolinaJ.M. y Molina A. (2019). Open Innovation Laboratories as Enabling Resources to Reach the Vision of Education 4.0. *Conferencia Internacional IEEE sobre Ingeniería, Tecnología e Innovación 2019 (ICE/ ITMC), Valbonne Sophia-Antipolis, Francia,2019*. pp. 1-7, doi: 10.1109/ICE.2019.8792595.

Vilela, D. C., Germano, J. S. E., Monteiro, M. A. A., & Carvalho, S. J. de .. (2019). Estudo comparativo de um experimento de eletrodinâmica: Laboratório Tradicional x Laboratório Remoto. *Revista Brasileira De Ensino De Física*, v.41, n. 4, e20190041. https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2019-0041

NXP. LPC1769 Datasheet (PDF) - NXP Semiconductors (2013). Recuperado en Julio 2023 en: https://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/328846/NXP/LPC1769.html

Evaluación del desempeño sísmico de una presa de materiales sueltos

Capua, Daniel M.N.[1]; Daziano, Alejandra[1]; Jacinto, Abel C.[1]

(1) *Facultad Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Tucumán. nicolascapua@gmail.com;madaziano@herrera.unt.edu.ar, ajacinto@herrera.unt.edu.ar*

RESUMEN

El análisis dinámico no lineal es un procedimiento confiable para estructuras importantes y sismos de intensidad extrema. El objetivo es analizar el desempeño dinámico de una presa de materiales sueltos con núcleo impermeable, de baja altura, para estudiar la respuesta en términos de asentamiento del coronamiento, frente a solicitaciones de magnitud considerable. Se seleccionaron tres acelerogramas reales, con aceleraciones pico entre 0,56 y 0,95 g y duraciones entre 24 y 66 segundos. Se incorporó al análisis otra medida de intensidad de los sismos, en términos de velocidades, CAV (Velocidad Total Acumulada). Los asentamientos del coronamiento resultaron ser entre 0,102 y 0,161 m (entre 0,42 y 0,66 % de la altura), observando el mayor daño estructural en correspondencia con valores más elevados de CAV y mayores duraciones. Los tiempos de cálculo fueron de 40 horas para el registro de menor duración y 111 horas para el de mayor duración, dejando en evidencia la necesidad de profundizar en herramientas que permitan reducir el tiempo de análisis y que la metodología empleada sea aplicable, por ejemplo, a análisis de riesgo.

Palabras claves: presas de materiales sueltos – análisis dinámico – riesgo sísmico

ABSTRACT

Nonlineardynamicanalysisis a reliableprocedureforimportantstructures and earthquakesof extreme intensity. Theobjectiveistoanalysethedynamic performance of a zonedearthdamwithanimpervioussore and lowheight, tostudythe response in termsofcrownsettlement, whenfacedwithrequestsof considerable magnitude. Three real accelerograms were selected, with peak accelerations between 0.56 and 0.95 g and durations between 24 and 66 seconds. Another measure of earthquake intensity was incorporated into the analysis, in terms of speeds, CAV (Accumulated Total Velocity). The crown settlements turned out to be between 0.102 and 0.161 m (between 0.42 and 0.66 % of the height), observing the greatest structural damage in correspondence with higher CAV values and longer durations. The calculation times were 40 hours for the record with the shortest duration and 111 hours for the record with the longest duration, evidencing the need to delve into tools that allow reducing the analysis time and that the methodology used is applicable, for example, a risk analysis.

Keywords: earth dams - dynamic analysis - seismic risk

1. INTRODUCCIÓN

Mundialmente, la evaluación de la seguridad de presas está migrando de un enfoque que tradicionalmente fue determinístico, a una concepción probabilista del riesgo, que abarca desde la amenaza hasta la respuesta de las estructuras y a las posibles consecuencias de una falla. En un escenario sísmico, el empleo de modelos numéricos y de análisis dinámicos con técnicas de integración tiempo-historia permiten una detallada caracterización del comportamiento de presas de materiales sueltos. Los antiguos procedimientos, basados en conceptos de Equilibrio Límite, mostraron limitaciones importantes, ya que en el problema dinámico la resistencia del material depende tanto de la tasa y de la historia de deformaciones, como de los excesos de presión de poros generados y debido a esa compleja dependencia, no es posible predecir la superficie de falla. Cobran importancia,

entonces, los análisis dinámicos no lineales completamente acoplados (Daziano, 2018).

En la evaluación de riesgo sísmico, se pretende establecer el grado de daño asociado a diferentes niveles de amenaza. Durante años, se invirtieron esfuerzos en definir el Sismo de Verificación con una base determinística, pero el sismo es en sí mismo una solicitación compleja, difícil de representar con un único parámetro. Por lo general, se emplea la Aceleración Pico (PGA), como medida de la intensidad del movimiento, incluso se escalan los acelerogramas propios de un sitio, en términos de PGA, para generar niveles de daño representativos en un análisis de riesgo. Sin embargo, la PGA no es suficiente e intervienen la duración, la energía del movimiento y parámetros asociados a la velocidad y al contenido de frecuencia. El concepto de un único Sismo de Verificación es reemplazado paulatinamente por el análisis de la respuesta frente a un conjunto de acelerogramas.

Existe limitada información referida al desempeño sísmico observado en las presas de materiales sueltos durante terremotos pasados. Frente a un movimiento del terreno, generalmente las presas se asientan y se fisuran, longitudinal y transversalmente. Como se muestra en la Tabla 1, Pell y Fells (2003) estudiaron en detalleel daño producido en presas a causa de un sismo y elaboraron las relaciones entre la intensidad del movimiento y el daño, que pueden servir para categorizar las consecuencias de una falla en función del asentamiento registrado en el coronamiento.

Tabla 1. Clasificación del daño (Pell y Fells, 2003).

	Clase de daño	Asentamiento Coronamiento Relativo Máximo
0	Ninguno	<0,03
1	Menor	0,03-0,2
2	Moderado	0,2-0,5
3	Mayor	0,5-1,5
4	Severo	1,5-5
5	Colapso	>5

Las presas de materiales sueltos con núcleo impermeable demostraron un claro predominio mundial, debidamente justificado: son presas que se adaptan fácilmente a distintas condiciones geológicas y topográficas, las técnicas constructivas son relativamente sencillas, se utilizan materiales de la zona y han demostrado un comportamiento satisfactorio (Yuan, 2014). Esta tipología sigue construyéndose en la actualidad, con alturas cada vez más desafiantes, tales son los casos de los proyectos de Rogun, en Tajikistan, que con sus 335 m de altura se convertirá en la presa más alta del mundo, seguida por la presa de Shuangjiangkou, en China, de 312 m.

El objetivo de este trabajo fue estudiar una presa de materiales sueltos con núcleo impermeable de baja altura, con parámetros constitutivos característicos de esta tipología y someterla a sismos destructivos para analizar su desempeño (Fig. 1). En la investigación se utilizó la Presa Matatila (Chhatre y Muralidhar, 2010), construida en 1964 sobre el río Betwa en India (Fig. 2).

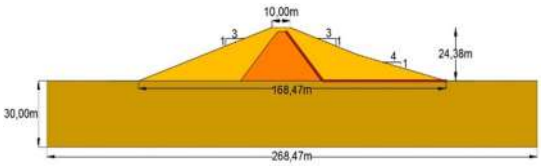


Figura 1. Esquema de la sección transversal de la Presa Matatila.

Figura 2. Imagen satelital de la Presa Matatila en Uttar Pradesh, India.

2. MODELO NÚMERICO

Se realizó un modelo de elementos finitos en estado plano de deformación. Para modelar el sistema presa-fundación se utilizaron elementos triangulares de 15 nodos. La construcción de la presa se materializó aumentando su altura en 5 etapas. Para representar el terreno donde se cimentó la presa se definió un rectángulo que se extiende de 50 m hacia ambos lados del pie de los taludes aguas arriba y aguas abajo y 30 m en profundidad. Para el análisis de las etapas constructivas y la determinación de la red de flujo en el conjunto presa-fundación se llevó a cabo un análisis acoplado, que resuelve simultáneamente ecuaciones tradicionales de la mecánica de los sólidos junto con las de flujo en medios porosos.

2.1 *Modelo Constitutivo*

El HardeningSoil es un modelo avanzado para la simulación del comportamiento del suelo. Al igual que el modelo Mohr-Coulomb, los estados límite de tensión se describen mediante el ángulo de fricción, φ, la cohesión, c, y el ángulo de dilatancia, ψ. Sin embargo, la rigidez del suelo se describe con mucha más precisión utilizando tres rigideces diferentes: la rigidez de carga triaxial, E_{50}, la rigidez de descarga triaxial, E_{ur}, y la rigidez de carga del edómetro, E_{oed}(Plaxis, 2020). Esto permite tener en cuenta el endurecimiento por fricción para modelar la deformación plástica por corte en la carga desviadora, y una superficie de cap (cierre de la superficie de fluencia sobre el eje de tensión isótropa p' del espacio de Cambridge) para modelar la deformación volumétrica plástica en la compresión primaria (Sien Ti, 2009).

A diferencia del modelo elastoplástico perfecto, la superficie de fluencia del modelo no es fija en el espacio de los esfuerzos principales, sino que puede expandirse debido a deformaciones plásticas y en función del esfuerzo de pre-consolidación (Fig. 3).

HardeningSoil incluye dos elementos primordiales referentes a los cambios de rigidez experimentados en el suelo: el endurecimiento por fricción que presenta los suelos en estado plástico (frictionhardening); y la compactación irreversible ocasionada por la aplicación de una compresión primaria o caphardening (Nieto Leal, et al., 2009).

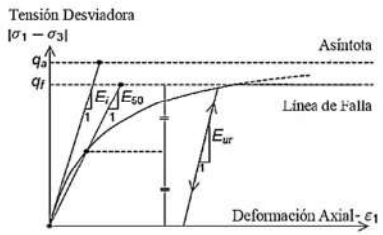


Figura 3. Modelo HardeningSoil; Elastoplástico con endurecimiento isótropo (Traducido de PLAXIS 2D, Reference Manual, 2012).

El modelo Hardening-Soil requiere un total de 11 variables, se sintetizan y agrupan en la Tabla 2. Los parámetros indicados se obtuvieron de Chhatre&Muralidhar (2010) y complementados según Vallejos Castro (2004), Obrzud (2010) y Nieto Leal et al. (2009). Para simular el comportamiento del suelo granular de la fundación se empleó el modelo elastoplástico perfecto Mohr-Coulomb.

2.2 *Malla y condiciones de borde*

El conjunto presa–fundación es un dominio de extensiones considerables, aún para presas de baja altura. Se realizó el refinamiento de la malla siguiendo un análisis de sensibilidad con el objetivo de definir la menor cantidad de elementos posibles para optimizar el tiempo computacional requerido, pero sin perder la precisión de los resultados (Fig. 4). El modelo definitivo consiste en una malla de 17.905 elementos triangulares de 15 nodos (143.970 nodos).

Tabla 2. Parámetros utilizados en el estudio.

		Espaldón	Núcleo
Tipo de suelo		SP	CL
Densidad seca	γ_s[kN/m^2]	1,75E^{+1}	1,55E^{+1}
Contenido de humedad	[%]	5,00	2,00E^{+1}
Cohesión	C [kPa]	1,00E^{-1}	8,50E^{+1}
Angulo de fricción interna	φ [°]	3,20E^{+1}	2,00E^{+1}
Angulo de dilatancia	ψ [°]	2,00	0,00
Densidad saturada	γ_a [kN/m^2]	2,09E^{+1}	1,94E^{+1}
Permeabilidad	k [m/dia]	1,00E^{-1}	1,00E^{-4}
Rigidez secante en ensayos triaxiales	$Eref_{50}$ [kPa]	1,60E^{+4}	3,50E^{+4}
Rigidez tangente para carga primaria edométrica	$Eref_{oed}$ [kPa]	2,00E^{+4}	1,75E^{+4}
Dependencia de la rigidez al estado de esfuerzos	m	5,10E^{-1}	1,00
Rigidez en descarga-carga	$Eref_{ur}$ [kPa]	9,60E^{+4}	1,05E^{+5}
Relación de Poisson en descarga-recarga	υ_{ur}	2,00E^{-1}	2,00E^{-1}
Esfuerzo de referencia	p_{ref}	1,00E^{+2}	3,60E^{+2}
Coeficiente de presión lateral de tierras	k0 n_c	4,70E^{-1}	6,58E^{-1}
Relación de falla	R_f	9,20E^{-1}	8,90E^{-1}
Rayleigh	α	2,50E^{-1}	2,50E^{-1}
	β	8,00E^{-3}	8,00E^{-3}

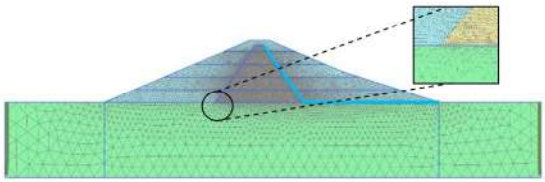


Figura 4. Mallado del modelo de la presa.

Para las condiciones de borde se aplicaron los vínculos estándares del software (Standard Fixities) que consideran, para las fronteras verticales de la fundación, izquierda y derecha, desplazamientos horizontales nulos, y para el borde inferior, desplazamientos verticales y horizontales nulos. Además, a los bordes laterales se les introdujo la condición de permeables de tal forma que permitieran el flujo, mientras que se adoptó una frontera inferior completamente impermeable.

2.3 *Construcción por etapas*

La construcción por etapas de la presa fue simulada considerando 5 capas de materiales de 5 m de espesor cada una (Fig. 5). Durante la etapa constructiva, se considera el desarrollo y disipación del exceso de presión intersticial del terraplén, en función del tiempo. El llenado del embalse también se realizó paulatinamente después de concluir la última etapa constructiva. En el término de 900 días se logró alcanzar el Nivel Máximo Ordinario (NMO) correspondiente a 308,4 m.s.n.m.Para análisis dinámicos, basta alcanzar el NMO por la baja probabilidad de ocurrencia de un sismo de características extremas con embalses en niveles extraordinarios. Esta construcción por etapas, llenado del embalse y establecimiento de la red de flujo, constituyen el estado previo a la ocurrencia del sismo.
El desplazamiento vertical máximo registrado al final del análisis estático resultó igual a 0,346 m, es decir 0,64% de la altura total del conjunto presa-fundación. Este resultado se encuentra en el orden del desplazamiento esperado al final de la construcción de una presa de esta tipología, que usualmente es cercano al 1% de la altura de la presa (Hunter &Fell, 2003).

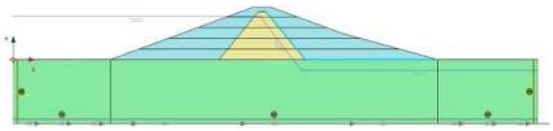


Figura 5. Geometría del modelo computacional de la presa con el NMO.

3. ANÁLISIS DINÁMICO

Para los cálculos dinámicos, se requieren condiciones de contorno diferentes a las descriptas anteriormente. La realidad se caracteriza por un dominio infinito que tiene que reducirse a un dominio finito al crear la geometría del modelo. Para esto, las condiciones de contorno apropiadas simulan la presencia de suelo alrededor de los bordes del modelo, absorbiendo los incrementos de tensiones causados por la carga dinámica y evitando reflexiones no auténticas de las ondas en las fronteras del suelo de la fundación del modelo (Plaxis, 2020). Se configuraron los bordes laterales con la condición de contorno viscoso, que corresponde a una situación en la que se aplican amortiguadores viscosos en la dirección X e Y, suministrando una fuerza resistente en la dirección normal y tangencial proporcionales a las velocidades del material cercano al borde (Lysmer&Kuhlemeyer, 1969).

3.1 *Selección de registros*

Se seleccionaron registros sísmicos reales para el estudio. Los mismos se obtuvieron de la Base de Datos Europea (EuropeanStrong-MotionDatabase, http://isesd.hi.is/) y la base de datos del Centro PEER (PEER NGA Database, http://ngawest2.berkeley.edu). Estos corresponden a los siguientes sismos ocurridos en distintos lugares del mundo, como ser:
-Duzce, Turquia, 1999 (Registro 375-000).
-Chi-Chi, Taiwán, 1999 (Registro TCU071-090).
-Loma Prieta, E.U., 1989 (Registro WAH-090).
Los registros de aceleraciones sísmicas se aplicaron sobre una línea de desplazamiento prescripto en el borde inferior del modelo. Se escogieron 3 puntos de interés para analizar los resultados, uno en el límite inferior de la fundación, otro en la base de la presa y el último en el centro del coronamiento (Fig. 6).
Como Medidas de Intensidad (IM) se adoptaron dos parámetros que caractericen a los sismos, por un lado, el parámetro clásico y ampliamente utilizado, PGA, y por otro, la Velocidad Absoluta Acumulada (CAV), propuesta por diversos autores y que ha demostrado una buena correlación con la respuesta de la presa (Cabañas et al, 1997; Oliveira et al., 2012). Para el proceso de selección, se tuvo en consideración que los tres registros presenten características bien diferenciadas, que se resumen en la Tabla 3. Por ejemplo, el acelerograma del sismo de Duzce alcanza dos picos de aceleraciones separados 9 segundos, con un PGA de 0,95 g, tal como se muestra en la Fig. 7. En cambio, el sismo de

sismo Chi-Chi, alcanza un PGA de 0,56 g, con una duración de más del doble del anterior. El registro de Loma Prieta presenta un PGA de 0,66 g y una CAV menor a los dos anteriores. Estos dos últimos se muestran en las Figs. 8 y 9.

Tabla 3. Características de los sismos

	Duración	PGA	CAV
	s	g	m/s
TCU071-090	66,67	0,556	33,62
WAH-090	24,26	0,659	19,86
375-000	30,96	0,951	26,44

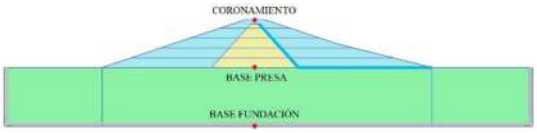


Figura 6. Puntos de interés en el modelo de la presa.

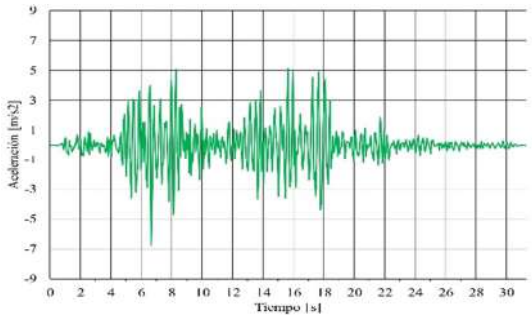


Figura 7. Registro del sismo Duzce, Turquía 1999.

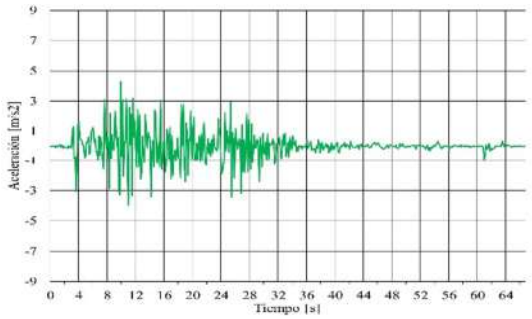


Figura 8. Registro del sismo Chi-Chi, Taiwán, 1999.

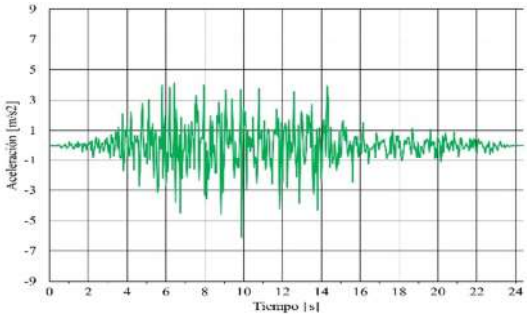


Figura 9. Registro del sismo Loma Prieta, E.U., 1989.

3.2 *Paso del tiempo para el análisis*

El paso de tiempo en los análisis dinámicos debe ser lo suficientemente pequeño como para satisfacer los requisitos de precisión, pero no demasiado para no incrementar el costo computacional. Según Haigh et al. (2005), la precisión en la predicción de un problema de propagación de ondas por medio de un código numérico depende del paso de tiempo, del tamaño de los elementos y del esquema de integración. Para el paso de tiempo existe una restricción adicional, y es que debe ser como máximo el intervalo de tiempo entre puntos del acelerograma (Δt). En una malla de elementos, el paso de tiempo crítico (t) será el menor valor de todos los elementos. De esta manera, se asegura que una onda durante un solo paso no se mueva una distancia mayor que la dimensión mínima de un elemento.El paso de tiempo en el análisis dinámico no debería ser más grande que el paso de tiempo crítico ya que de ocurrir, la solución podría mostrar desviaciones sustanciales y la respuesta del cálculo no sería confiable. (Morales Quispe, 2013).

El paso de tiempo crítico para el modelo en estudio resultó ser de 0,005 s, este corresponde a la mínima discretización de los registros sísmicos empleados. El tiempo crítico derivado del tamaño de los elementos de la malla fue ajustado de manera que cumpla con esta condición, sin un mayor grado de refinamiento, que incrementaría el costo computacional.

3.3 Resultados del análisis y comparaciones

El asentamiento del coronamiento es un parámetro que caracteriza la respuesta de la estructura bajo solicitaciones dinámicas. Este

indicador, permite evaluar dos mecanismos que amenazan la seguridad de la presa: sobrepaso por pérdida de resguardo y fisuración del núcleo. Este último no es directo, pero se debe a las deformaciones cortantes que se desarrollan en el núcleo y que contribuyen al asentamiento. Los asentamientos en el coronamiento (Δ) se relacionaron con la altura total del conjunto presa–fundación (DH+AT) obteniéndose un asentamiento relativo porcentual (1):

$$Asentamiento\ [\%] = \frac{\Delta}{DH+\ AT}\ x\ 100 (1)$$

En la Tabla 4 se muestran los resultados obtenidos de la expresión anterior en el caso de estudio.

Basándose en la clasificación del daño de Pell&Fells (2003), presentada en la Tabla 1, se puede observar que el resultado para el registro WAH-090 es menor a 0,20 correspondiendo a un daño Menor. Los restantes generaron un daño Moderado.

Tabla 4. Asentamientos del coronamiento obtenidos para el caso de estudio.

Sismo	DH [m]	AT [m]	Δ [m]	Asentamiento [%]
375-000	24,38	30	0,144	0,26
TCU071-090			0,161	0,30
WAH-090			0,102	0,19

Al considerar la PGA se advirtió que WAH-090 y TCU071-090 presentaron valores cercanos entre sí (0,659 g y 0,556 g respectivamente); a pesar de esto, los asentamientos resultaron ser 0,102 y 0,161 m, respectivamente, es decir con una diferencia del 58% (Tabla 4 y Fig. 10). Este hallazgo corrobora que la PGA no es el único parámetro determinante en la respuesta de la estructura. (Benito & Cabañas, 1999).

El mayor daño estructural generado en la presa se observó en los sismos que presentaron los valores más elevados de CAV (Fig. 11) y mayor duración (Fig. 12).

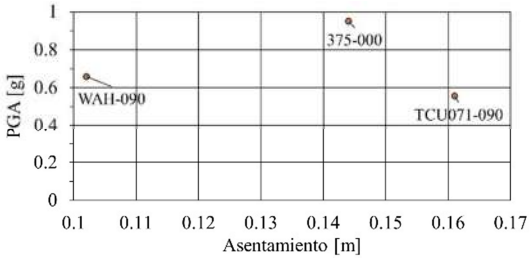


Figura 10. Relación PGA vs. asentamiento.

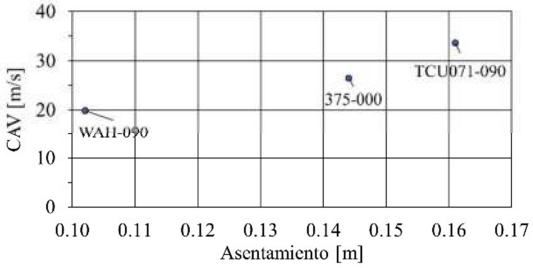


Figura 11. Relación CAV vs. asentamiento.

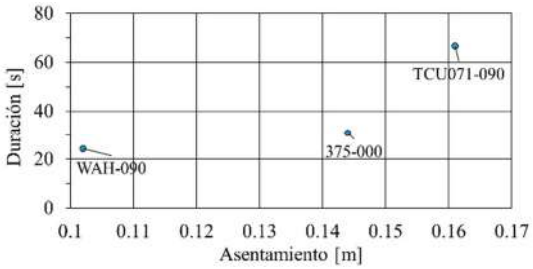


Figura 12. Relación duración vs. asentamiento.

Al analizar los resultados, es notable que los asentamientos en cada caso se concentran en la fase fuerte del registro. Para 375-000, la fase fuerte sucede entre los 5 y los 18 s, donde prácticamente se acumulan los 0,144 m de asentamiento, con la particularidad que entre los 9 y 12 s hay una disminución en la velocidad en la que se produce el desplazamiento, coincidente con la forma del acelerograma, tal como se observa en la Fig. 13.

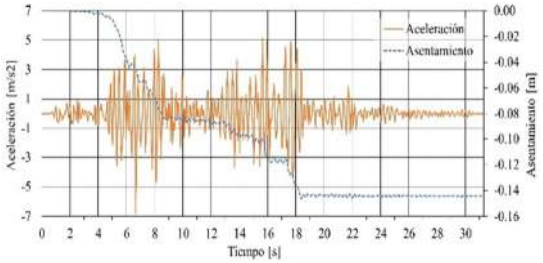


Figura 13. Asentamiento en el tiempo durante el registro 375-000.

El desplazamiento vertical del coronamiento en TCU071-090 comenzó a los 3 s de iniciada la excitación con un descenso abrupto hasta alcanzar un asentamiento final de 0,161 m a los 27 s (Fig. 14).

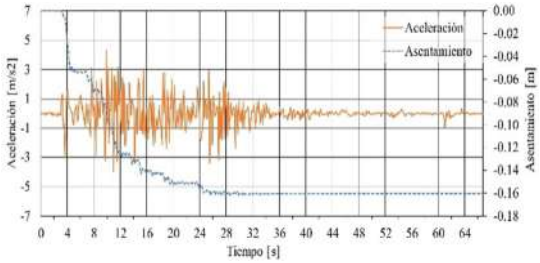


Figura 14. Asentamiento en el tiempo durante el registro TCU071-090.

En la Fig. 15 el asentamiento del coronamiento de WAH-090 comenzó a los 2 s de iniciada la excitación, con una velocidad sostenida hasta el segundo 14, coincidente con el fin de la fase fuerte y finalmente un descenso a menor velocidad que los registros anteriores hasta alcanzar un valor final de 0,102 m al concluir la excitación.

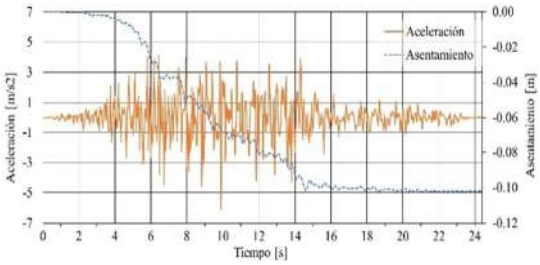


Figura 15. Asentamiento en el tiempo durante el registro WAH-090.

Las gráficas presentadas muestran la coincidencia entre la fase fuerte de aceleraciones y las mayores velocidades de asentamiento.
WAH-090 y 375-000 son los primeros en alcanzar su asentamiento máximo a los 18 s, mientras que TCU071-090 lo logra a los 27 s. Los asentamientos alcanzados en orden creciente fueron de: 0,102 m, 0,144 m y 0,161 m para los registros WAH-090, 375-000 y TCU071-090 respectivamente (Fig. 16).

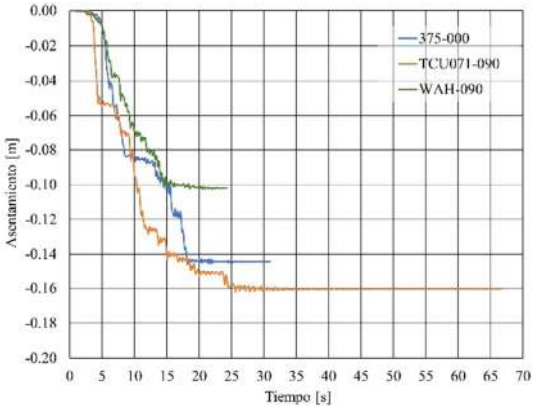


Figura 16. Asentamiento del coronamiento en el tiempo para los tres registros.

Si se observa el mapeo completo de desplazamientos totales en el cuerpo de la presa, y no sólo el asentamiento del coronamiento, el nivel de daño alcanzado es crítico. Para 375-000, el daño generado fue crítico con un desplazamiento máximo registrado en el talud aguas arriba igual a 0,63 m. El mecanismo de falla que afectó a ambos espaldones fue el deslizamiento de los taludes, describiendo una superficie de falla por el pie del talud y tangente al núcleo de la presa (Fig. 17). Este tipo de falla se encuentra presente en todos los registros analizados. Si se considera la escala de Pells&Fells (2003), para la misma excitación la presa sufrió un daño moderado, por lo que, en este caso, el asentamiento del coronamiento sería una medida incompleta del daño sísmico.

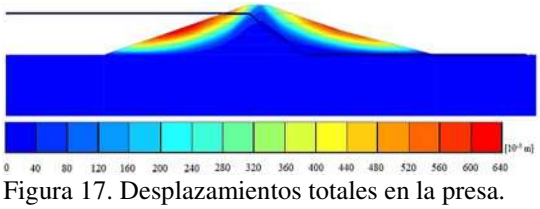


Figura 17. Desplazamientos totales en la presa.

El tiempo de cálculo total, para el conjunto de tres acelerogramas, resultó ser de aproximadamente 7 días y medio (Tabla 5). Específicamente, el análisis de un registro de 31 s demora 27 horas, tal como puede verse en la tabla. El costo computacional asociado al análisis dinámico tiempo-historia es una limitación a la hora de emplear la metodología en el marco de un análisis de riesgo. Es claro que un conjunto de 3 acelerogramas es insuficiente para caracterizar la respuesta de la presa, debiéndose recurrir a conjuntos con mayor número de registros. Se deben alcanzar niveles de daño que cubran todo el

espectro de posibilidades. Por otra parte, los parámetros de la Tabla 2, así como las permeabilidades, fueron definidos en forma determinística y, además, para un único nivel de embalse correspondiente al NMO. Involucrar todas esas variables en el análisis requiere una cantidad de tiempo de cálculo que lleva a que continúen en vigencia métodos de análisis menos precisos.

Tabla 5. Tiempo de cálculo según los sismos analizados.

Sismos	Tiempo de cálculo [h]
375-000	27,04
TCU071-090	111,40
WAH-090	40,12
Total	178,56

4. CONCLUSIONES

En este trabajo, se llevó a cabo el análisis dinámico tipo tiempo-historia de una presa de materiales sueltos con núcleo impermeable de 24 m de altura, mediante un modelo de elementos finitos bidimensional. Con el análisis estático, se simuló el estado de la estructura previo a la ocurrencia del sismo, considerando la construcción por etapas y el llenado paulatino del embalse; alcanzándose un asentamiento en el coronamiento del 0,6 % de la altura.

La presa fue sometida a la acción de tres acelerogramas reales, de importante magnitud. Dicha magnitud fue evaluada en función de su duración, PGA y CAV. Se adoptaron bordes viscosos para las fronteras del modelo y un amortiguamiento tipo Rayleigh, llevando adelante un análisis acoplado. La respuesta se evaluó en términos del desplazamiento vertical del coronamiento, con niveles de daño alcanzados entre Menor y Moderado, de acuerdo a la clasificación de daño adoptada.

El análisis ha demostrado que el parámetro que generalmente se utiliza para caracterizar la intensidad del movimiento, PGA es una medida incompleta, ya que no hubo una correlación con los asentamientos obtenidos. Distinto es el caso de la CAV y la duración, donde se puede observar una mayor correlación positiva, a mayor IM, mayor asentamiento.

En el estudio del análisis dinámico de la presa de materiales sueltos Matatila (Chhatre y Muralidhar, 2010) se encontró que el asentamiento del coronamiento, calculado por el método de Makdisi y Seed, varió de 0,53 a 6,6 cm, con un sismo de PGA igual a 0,124 g. El análisis de estabilidad de taludes con coeficiente sísmico indicó un Factor de Seguridad del talud aguas arriba en el rango de 0,78 a 0,88, menor que 1. En esta investigación se utilizó el análisis dinámico tiempo-historia con registros de PGA variables entre 0,556 y 0,951 g, resultando que el coronamiento experimenta asentamientos mayores (10,2 y 16,1 cm) y que ambos espaldones fallaron por deslizamiento. Es interesante destacar que si bien la variable asentamiento del coronamiento, tal como es de esperar, aumenta en la medida que lo hace la PGA, los resultados sugieren que los espaldones fallan tanto para sismos con baja y alta PGA. Esto refuerza el concepto de que es necesario monitorear más de una variable en este tipo de análisis y destaca la importancia de seleccionar los sismos de estudio teniendo en cuenta distintas propiedades que los caractericen.

Se puede concluir que, con una muestra de tres sismos, la respuesta dinámica tiene una gran variabilidad, por lo que sería necesario un mayor número de acelerogramas y el análisis de otros aspectos de la respuesta como, por ejemplo, el exceso de presión de poros. Si bien el análisis acoplado puede representar con un buen grado de confiabilidad la respuesta de la presa, el costo computacional requerido es muy elevado; al menos 27 horas para el registro de 31 s de duración. Esto es de especial consideración si se tiene en cuenta que, en el marco del análisis de riesgo, se debería recurrir a un gran número de registros que resulten en diferentes niveles de daño para la presa; a lo que se debe sumar la variabilidad en los parámetros del modelo y en los niveles de embalse, recurriendo a una simulación de tipo Monte Carlo. En futuros trabajos, se deberá profundizar en las herramientas disponibles para disminuir el costo computacional, sin pérdida significativa de precisión en la estimación de la respuesta.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue desarrollado por el primer autor en el marco de una Beca Estudiantil CIUNT financiada por la Secretaría de Arte, Ciencia e Innovación Productiva de la Universidad Nacional de Tucumán.

6. REFERENCIAS

Benito, B., Cabaña, L. (1999). Caracterización del movimiento del suelo en ingeniería sísmica. *Física de la Tierra.* 11. 49-79. https://revistas.ucm.es/index.php/FITE/article/download/FITE9999110049A/12072/0

Cabañas, L., Benito, B., &Herraíz, M. (1997). An approach to the measurement of the potential structural damage of earthquake ground motions. Earthquake engineering &structural dynamics, 26(1), 79-92.

Chhatre, M. V., & Muralidhar, B. (2010). *Dynamic Analysis of Matatila Earthen Dam–A Case Study*. In IndianGeotechnicalConference.

Daziano, M. A. (2018). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de presas de materiales sueltos*. [Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Tucumán]. Repositorio Institucional CONICET Digital. https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/84676

Haigh, S. K. & Ghosh, B., Madabhushi, S. PG. (2005). Importanceof time step discretisationfornonlineardynamic finite element análisis. *Canadian GeotechnicalJournal*. 42(3). 957-963 https://cdnsciencepub.com/doi/abs/10.1139/t05-022

Hunter, G. & Fell, R. (2003). *The Deformation behaviour of Embankment Dams*. The University of New South Wales Sydney (Report N° 416). https://vm.civeng.unsw.edu.au/uniciv/R-416.pdf

Lysmer, J. & Kuhlemeyer, L. (1969). Finite Dynamic Model for Infinite Media. *Journal of the Engineering Mechanics Division – Proceeding of the American Society of Civil Engineers*. 95(4), 859-877. https://kupdf.net/download/lysmer-j-uhlemeyer-l-1969-finite-dynamic-model-for-infinitemedia_58f209d2dc0d60051eda984a_pdf

Morales Quispe, M. (2013). Formulación de elementos finitos y elementos discretos. *Centro de Investigación en Matemáticas Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería*. https://cimat.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1008/468/1/TE_1523.pdf

Nieto Leal, A., Camacho Tauta, J. y Ruiz Blanco, E. (2009). Determinación de Parámetros para los Modelos Elastoplásticos Mohr-Coulomb y HardeningSoil en Suelos Arcillosos. *Ingenierías Universidad de Medellín*. 4, 85-86. https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/63

Obrzud R. (2010). *TheHardeningSoilModel: PracticalGuidebook*. Zace Services.

Oliveira, C.S., Gassol, G., Goula, X. &Susagna, T. (2012). European digital accelerogram database: A statisticalanalysisofengineeringparametersofmoderatemagnitudeevents.

Pells, S. & Fell, R. (2003). *Damage and cracking of embankment dams by earthquake and the implications for internal erosion and piping*. In Proceedings of the 21st International Congress on Large Dams (pp. 62-69). Montreal: ICOLD.

Plaxis. (2020). *PLAXIS Material Models CONNECT Edition V20.02*. Bentley

Plaxis. (2020). PLAXIS Reference Manual CONNECT Edition V20.02. Bentley

Sien Ti, K., Bujang, H., Jamaloddin, N. & Saleh, J. (2009). A Reviewof Basic Soil Constitutive ModelsforGeotechnicalApplication. *Electronic JournalofGeotechnicalEngineering*. 14. 1-18. https://www.researchgate.net/profile/Bujang-huat/publication/228565882_A_Review_of_Basic_Soil_Constitutive_Models_for_Geotechnical_Application.pdf

Software Geotécnico GE05. *Modelo no lineales - Ángulo de dilatación*. Recuperado el 16/11/2022 de https://www.finesoftware.es/ayuda-en-linea/geo5/es/angulo-de-dilatacion-01/

Universidade da Coruña (2010). *Clasificación de suelos*. Recuperado de https://www.udc.es/dep/dtcon/estructuras/ETSAC/Publicaciones/pub-val/Suelos/suelos.pdf

Vallejos Castro, J. (2004). *Dilatancia y ángulo de fricción efectivo de la arena eólica de Piura con el ensayo de corte directo*. [Tesis de grado, Universidad de Piura].

Yuan, L., Liu, X., Wang, X., Yang, Y. & Yang, Z. (2014). Seismic performance ofearth-core and concrete-faced rock-filldamsbylarge-scaleshaking table tests. *Soil Dynamics and EarthquakeEngineering*, 56, 1-12.

Creación de un Centro de gestión y monitoreo hidrometeorológico en el municipio de Tafí Viejo. Tucumán.

Comba, Aníbal[1]

(1) Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán. acomba@herrera.unt.edu.ar;

RESUMEN

Tafí Viejo es uno de los seis municipios que, en conjunto con dieciséis comunas rurales, conforman el colectivo de administraciones locales del Área Metropolitana de Tucumán, con una población de 56.407 habitantes (Censo 2010).La planta urbana presenta sectores de alta vulnerabilidad ante los pulsos de intensas precipitaciones que se presentan en el verano. Se propone crear un Centro de gestión y monitoreo hidrometeorológico con el fin de prever los caudales y tiempos de concentración de crecidas que pueden afectar a la población, e implementar medidas de mitigación. Esto se lleva a cabo a través de la instalación de una grilla de pluviógrafos y sensores de nivel, enlazada en modo inalámbrico con un centro de monitoreo donde se procesan los datos con software especializado, que dotará a Tafí Viejo de un sistema de alerta temprana de eventos de crecidas.

ABSTRACT

Tafí Viejo is one of the six municipalities that, together with sixteen rural communes, make up the group of local administrations of the Tucumán Metropolitan Area, with a population of 56.407 habitants (2010 Census). The urban plant presents sectors of high vulnerability because of the pulses of intense precipitations that appear in the summer. It is proposed to create a Hydrometeorological Management and Monitoring Center in order to forecast the flows and concentration times of floods that may affect the population, and implement mitigation measures. This is carried out through the installation of a grid of rain gauges and level sensors, linked wirelessly to a monitoring center where the data is processed with specialized software, which will provide Tafí Viejo with an early warning system of flood events.

Palabras claves: Tafí-Viejo-Monitoreo-Crecidas.

Keywords: Tafí-Viejo-Monitoring-Floods.

1. ANTECEDENTES

El presente trabajo es el producto de una propuesta que fue presentada y evaluada a nivel nacional y considerada elegible para ser financiado por el Ministerio de Ciencia y Técnica de la Nación.
El objetivo general es crear un Centro de gestión y monitoreo hidrometeorológico con el fin de prever los caudales y tiempos de concentración de crecidas que pueden afectar a la población de Tafí Viejo, Provincia de Tucumán, para implementar medidas de mitigación de posibles daños.
Tiene como objetivos tecnológicos la instalación de una grilla de pluviógrafos y sensores de nivel, enlazada en modo inalámbrico con un centro de monitoreo donde se procesan los datos con software especializado, que dotará a Tafí Viejo de un sistema de alerta temprana de eventos de crecida y proveerá información hidrometeorológica útil.
Tiene como objetivos socioeconómicos desarrollar un sistema de alerta de riesgo de inundación para Tafí Viejo, proveer datos hidrometeorológicos procesados, a través de una página en internet, para beneficio de la población en general.
Tiene como objetivo de transferencia de conocimiento la capacitación del personal a cargo del mantenimiento de la red y de las operaciones en el centro de monitoreo, incluyendo la difusión de los datos para uso de la población en general, sobre el uso de los datos ofrecidos y del modo de accionar en el caso de un evento de inundación.
Participan del Proyecto instituciones muncipales, provinciales y nacionales, tales como: Municipalidad de Tafí Viejo y su población (Beneficiario), Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la UNT, Dirección de Recursos Hídricos de la Provincia, Secretaría de Estado de Innovación y Desarrollo Tecnológico de la Provincia, Consejo Federal de Ciencia y Técnica la Unidad de Negocios de la UNT.

2. JUSTIFICACION

Los destinatarios finales de este proyecto son los habitantes del Municipio de Tafí Viejo. Este municipio, con una población de 56.407 personas, es el cuarto en el rango de población de los centros urbanos de la provincia de Tucumán, y tiene una tasa de crecimiento poblacional del 10% anual.

Tafí Viejo es uno de los seis municipios que, en conjunto con dieciséis comunas rurales, conforman el colectivo de administraciones locales del Área Metropolitana de Tucumán (AMET). Está situado al noroeste del aglomerado metropolitano. Geográficamente su emplazamiento hace que esté en contacto directo con la sierra de San Javier, los límites hacia el oeste del municipio están definidos por la línea cumbral de las sierras.
La planta urbana presenta sectores de alta vulnerabilidad ante los pulsos de intensas precipitaciones que se presentan en el verano. En respuesta a esta condición de vulnerabilidad de la ciudad, el Ejecutivo Municipal se suma a la propuesta.

3. DESARROLLO DEL TRABAJO

3.1. Actividades desarrolladas

3.1.1. Red de pluviógrafos y sensores de nivel

Se diseñó una grilla de pluviógrafos y sensores de nivel, enlazada en modo inalámbrico con un centro de monitoreo donde se procesan los datos con software especializado.
La red dotará a Tafí Viejo de un sistema de alerta temprana de eventos de crecida y proveerá información hidrometeorológica útil.
Se adquirieron de 3 estaciones pluviográficas con envío de información en tiempo real, con las siguientes características:
Equipo registrador Termo-pluviométrico electrónico, con sensores incorporados para el registro de lluvia y temperatura, soporte tubular. Alimentación con panel solar 7W, regulador y batería gel 12 V 7 Ah modem para telemetría(GPRS) con antena exterior, para envío datos a servidor.
Se adquirió 1 sensor de nivel con envío de información en tiempo real, con las siguientes características:

Equipo registrador limnimétrico electrónico con sensores de ultrasonido ,alimentación con panel solar de 7 W, regulador y batería gel 12 V 7 Ah.

Modem para telemetría (GPRS) con antena exterior, para envío datos a servidor.

Para la ubicación de los mismos se mantuvieron conversaciones con personal técnico de la Municipalidad de Tafí Viejo, a fin de identificar las posibles ubicaciones que tuvieran utilidad para el fin previsto.

Fig. 1: Estación 1 -Propiedadprivada. Lat. 26°42'58.64"S - Long. 65°16'19.28"O. Comuna La Esperanza.

Fig 2.: Estación 2 - Centro de e Interpretación Ambiental y Tecnológico (CIAT).Ubicación: Lat. 26°44'3.30"S - Long. 65°16'45.15"O. Municipio Tafí Viejo.

Fig. 3: Estación 3 -Propiedad Sociedad Aguas del Tucumán (SAT).Ubicación: Lat. 26°42'29.2"S - Long. 65°16'01.6"O. Municipio Tafí Viejo.

Las mismas se encuentran operativas y han brindado información continua durante el presente período estival.

3.1.2. Implementación de un Sistema de Información Geográfico

Con el fin de un análisis sistemático de los datos y la generación de reportes, además de disponer de una base cartográfica actualizada, se diseñó e implementó un sistema de información geográfico. La extensión del área de estudio abarcó el faldeo oriental de la sierra de San Javier y piedemonte adyacente aguas arriba de la zona urbanizada de Tafí Viejo, Tucumán, con una superficie aproximada de 70 km^2.

Tuvo en cuenta la información existente y disponible que a continuación se detalla:

- Geo-servicios disponibles a nivel provincial, nacional.
- Información generada por la Municipalidad de Tafí Viejo.
- Información generada en formato CAD provenientes de la "Sistematización de las quebradas del flanco oriental de la Sierra de San Javier. Actualización del sistema de desagües que comprende a los Departamentos de Tafí Viejo, Yerba Buena y Capital". UNT. 2003.

La herramienta elegida para el desarrollo de las tareas fue el QGIS, que es un sistema de información geográficade código abierto, cuyo proyecto nació en mayo de 2002 y se estableció como proyecto en SourceForge en junio del mismo año. QGIS se ejecuta actualmente en la mayoría de las plataformas Unix, Windows y macOS, disponiendo de una interfaz gráfica de usuario (GUI) agradable y fácil de usar.

QGIS permite la captura de datos, para el análisis avanzado de SIG y para presentaciones en forma de mapas,atlas e informes sofisticados. Admite una gran cantidad de formatos de datos vectoriales y ráster, con un nuevo soporte de formato que se agrega fácilmente mediante la arquitectura del complemento.

QGIS se publica bajo la Licencia Pública General GNU (GPL).

Las tares llevadas a cabo en las capas consistieron en la re-proyección y unificación de todas ellas al marco de Referencia Geodésico POSGAR 07, utilizando el sistema de Coordenadas: POSGAR 2007 Argentina Zona 3 - Proyección: Transverse Mercator (EPSG: 5345). POSGAR 07 (Posiciones Geodésicas Argentinas 2007) fue adoptado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) como el Marco de Referencia Geodésico Nacional a través de la Disposición N° 20/2009 del15 de mayo de 2009, reemplazando al hasta entonces vigente POSGAR 94. La versión de QGIS utilizada es la 1.3.-

El proyecto de Sistema de Información Geográfica se organizó en 8 (ocho) grupos: cartografía base, área productiva, topografía, área natural, hidrografía, imágenes satelitales Sentinel e índices espectrales, ubicación general de Tucumán, mapa bicontinental y Google satélite.

3.1.3. Estudio de Hidrología Ambiental

También se realizó un estudio de Hidrología Ambiental, con el fin de calcularlos aportes hídricos superficiales del faldeo serrano y para determinar si es recomendableinstalar un sistema de alerta temprana. Por otro lado, verificarsi loscaudales de aporte exceden la capacidad de conducción de los canales existentes.

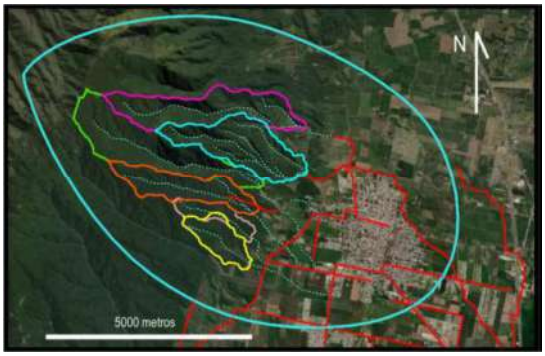


Fig. 4. Red de drenaje y sistema de canales con influencia sobre la zona urbana de TafíViejo.

Un sistema de alerta temprana para el sistema hidrológico del faldeo de la sierra de San Javier requiere de tres componentes:

a) Un modelo hidrológico robusto para las cuencas en el faldeo,

b) Un centro de control con capacidad para ejecutar el modelo y decidir el nivel de alertapertinente.

c) Instrucción de las autoridades de defensa civil y la población en general sobre las medidas a tomar.

El estudio incluyó una recopilación de información hidrometeorológica antecedente y sobre la base de su análisis decidió adoptar tres modelos de lluvia: a) el evento real ocurrido el 12 de Febrero de 2001, en Yerba Buena (registrado

por un pluviómetro de la Universidad Nacional de Tucumán), b) una compilación de frecuencias de lluvia para una recurrencia de 20 años, basada en datos de El Colmenar 1942-1993 (Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres), y c) un hietograma sintético para recurrencia de 100 años derivado de curvas Intensidad-Duración-Frecuencia, en Bazzano (2019).

Se encontró que la tormenta ocurrida el 12 de febrero de 2001 y registrada en la estación Yerba Buena de la UNT, se presenta como la más desfavorable en su distribución y monto total. Por ello se la adoptó para la simulación hidrológica.

Se realizó un mapeo de las condiciones actuales de uso del suelo y sus características, a fin de determinar las pérdidas de lluvia por infiltración.

Se adoptó la condición de humedad antecedente tipo III (56mm de lluvia acumulados antes del evento).

Los resultados obtenidos fueron contrastados con mediciones a campo, mediante ensayos de infiltración.

De norte a sur se definieron 6 (seis) cuencas de aporte al área urbana: Arroyo Nueva Esperanza, Arroyo Cochuchal, Arroyo Tafí, Arroyo Cañitas, Arroyo de la Quebrada 6 y Cuenca 6.

La determinación de los caudales pico e hidrogramas en cada punto de salida de las cuencas se calcularon mediante el programa HEC-HMS (uso gratuito, del Army Corps ofEngineers de EEUU.).

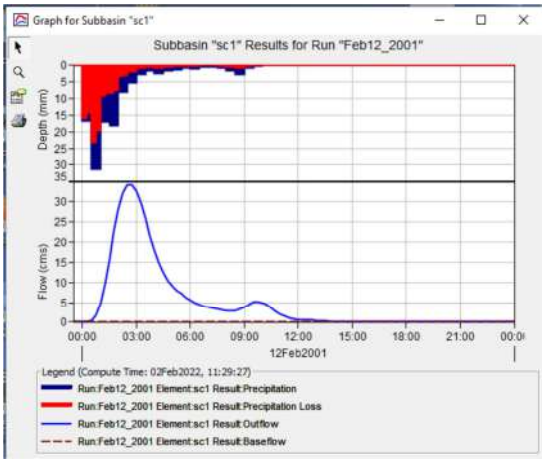


Fig. 5. Ejemplo de resultado obtenido de la simulación para una cuenca. Se detalla el hietograma de tormenta y el hidrograma de salida.

Para analizar el funcionamiento de los canales existentes ante los eventos simulados, se utilizó el programa HEC-RAS (uso gratuito, del Army Corps ofEngineers de EEUU.).

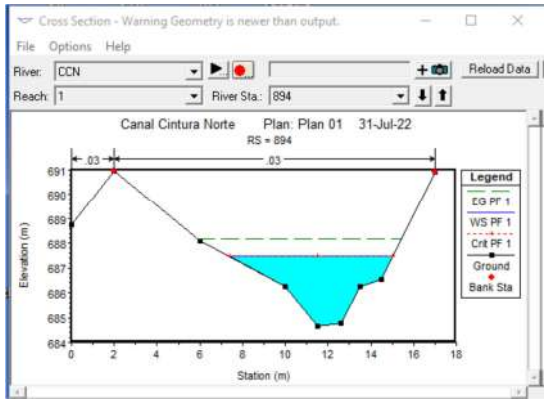


Fig. 6. Ejemplo de resultado obtenido de la simulación para un tránsito de caudales en cauce. Se detalla la sección transversal y el perímetro mojado resultante.

El estudio determinó que entre el pico de lluvia y el pico de creciente a la salida de la cuenca, transcurren entre 90 y 120minutos. La experiencia recogida de otros sistemas de alerta temprana de inundación – donde se ha demostrado que un tiempo de concentración de 60 minutos puede ser suficiente para alertar a la población - indica que un sistema similar sería operativo para Tafí Viejo y que sería conveniente, sin embargo, instalar al menos un pluviógrafo a medio faldeo para ajustar mejor el tiempo de escurrimiento. En última instancia, la eficacia del sistema de alerta dependería de una correcta calibración con las operaciones en el centro de control en cuanto a la recepción de la información y la emisión de instrucciones a la población.

Por otro lado, el estudio indica que la descarga directa del faldeo serrano no causaría desbordes en los canales existentes, al menos hasta antes de ingresar al área urbana.

En el centro de control se ha de procesar la información de lluvia, ejecutar el modelo hidrológico, evaluar el riesgo en base a umbrales preestablecidos, y emitir las alertas correspondientes. Se indicaron pautas para el armado y funcionamiento del Centro.

- La ejecución del modelo hidrológico debe ser automática, gatillada por un umbral en la tasa y/o profundidad de la precipitación.
- El Centro de control será responsable de establecer el número y los intervalos entre

los umbrales de alerta y de emitir las alertas cuando sea pertinente.

- Una vez establecidos, dichos umbrales deberán ser difundidos entre el personal responsable y expuestos a la vista en la sala de control.
- Una dotación permanente debe mantener actualizado un mapa con zonas de riesgo y diseñar estrategias de comunicación con Defensa Civil y con la población.
- La dotación mínima debe cubrir tres turnos de trabajo. No obstante, no es necesario que se haga guardia permanente. El principio de alerta se disparará cuando comience la lluvia en el faldeo. A partir de ese momento deberá iniciarse la guardia y atender una posible escalada.
- El Centro de control será responsable del mantenimiento de equipos en el predio del centro y del instrumental instalado en terreno.

3.1.4. Capacitación de operadores

A los fines de preparar a los futuros y posibles operadores del Centro de monitoreo, se realizó una capacitación técnica, abarcando temas como los componentes que debería incluir (mobiliario, hardware, software, recursos humanos, presupuesto, modalidad de trabajo, etc.), la consulta, comunicación y la toma de decisiones, además del necesario mantenimiento de las instalaciones y equipamiento. También se explicó cómo debería visualizarse, analizarse y tratarse la información que se va registrando, de manera de disponer de formatos entendibles y que pudieran ser almacenados de manera correcta para la futura estadística. También se realizó una explicación paso a paso de la descarga y uso de los aplicativos informáticos, tanto para PC como para celulares.
Se enseñó de que manera hacer consultas y como leer los registros, para luego pasar a la descarga, el tratamiento y el almacenamiento de la información. Por último, se indicaron los links de páginas en la web que permiten ver el pronóstico del tiempo para los próximos 7 días, con cuya información pueda anticiparse los eventos extremos.

4. CONCLUSIONES

La creación y puesta en funcionamiento de un Centro de monitoreo de eventos extremos logrará estar alerta a las autoridades de aplicación de emergencias y a la población en general.
Se verificó la necesidad y utilidad de contar con un Centro de estas características para la población de Tafí Viejo.
Con reducida inversión se podrá mitigar la pérdida de vidas humanas y la destrucción de la infraestructura.
El Centro requerirá de la decisión política de mantenerlo activo en condiciones adecuadas de prestación del servicio.
La Universidad Nacional de Tucumán, a través de su Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, ha realizado un aporte desde la ciencia y la tecnología a una mejora en la calidad de vida de los ciudadanos y se espera que este modelo de intervención se multiplique en otras localidades.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Universidad Nacional de Tucumán – Secretaría de Obras Públicas de Tucumán. (2003). *Plan director de sistematización de las quebradas del flanco oriental de la sierra de San Javier. Actualización del sistema de desagües*.

Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la UNT. (2021). *Bases para el ordenamiento hídrico de Tafí Viejo*.

Hidroeléctrica Tucumán S.A.*Presa El Cadillal. Plan de acción durante emergencias*(2006).

Ministerio de Seguridad Ciudadana. *Plan operativo. Servicios de protección civil.* (2006*).*

Programa nacional de prevención y reducción de riesgos de desastre y desarrollo territorial. *Cuadro preliminar de la situación de riesgo de desastre. Región NOA / Provincia de Tucumán*.(2007*).*

Secretaría de Estado de GestiónPública y Planeamiento. Diagnóstico municipal Tafí Viejo. (2015).

Dimensionando el consumo y eficiencia energética de los sistemas de alumbrado de Argentina, datos del lustro de transicióna la tecnología SSL

Estevez, M.[1]

(1) Departamento de Electricidad, Electrónica y Computación -Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán, Argentina.
mestevez@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN

Se desarrolla un procedimiento para estimar tanto el consumo anual de energía eléctrica como la eficiencia media en los circuitos de iluminación en Argentina, utilizando como base el consumo anual de lámparas. Dicho procedimiento se fundamenta en el hecho de que el mercado está abastecido exclusivamente por productos importados desde el cese de la producción local en el año 2010. Para tal fin, se ha llevado a cabo un minucioso análisis de los despachos a plaza, fiscalizados por la ANA, así como de bases de datos privados. Esto ha permitido reconstruir la cantidad de lámparas importadas en los últimos cinco años. Este período abarca una fase de transición del mercado, caracterizada por la introducción de nuevas tecnologías, en particular, la comercialización de lámparas con tecnología de iluminación de estado sólido, cuyos efectos son reflejados en los resultados presentados en este trabajo. En el período comprendido entre los años 2018 y 2022, se ha observado una disminución sustancial en el consumo de energía eléctrica en iluminación, alcanzando en el año 2022 un valor inferior a 16 TWh

ABSTRACT

A procedure is developed to estimate both the annual consumption of electrical energy and the average efficiency of lighting circuits in the Argentine Republic, using the annual consumption of electric lamps as a basis. This procedure is based on the fact that the market is exclusively supplied by imported products since local production ceased in 2010. To this end, a thorough analysis was carried out of the market dispatches audited by the National Customs Administration, as well as of private databases and search engines. This has made it possible to reconstruct, year by year, the number of lamps imported over the last five years, broken down by type of technology. This period covers a market transition phase, characterized by the introduction of new technologies, in particular the commercialization of lamps with solid-state lighting technology, the effects of which are reflected in the results presented in this paper. In the period from 2018 to 2022, a substantial decrease in electricity consumption in lighting is observed, reaching a value of less than 16 TWh in 2022.

Palabras claves:energía – demanda - iluminación - lámparas

Keywords:Energy - Demand - Lighting – Lamps

1. INTRODUCCIÓN

La falta de información representa el principal desafío en el estudio global del alumbrado en la República Argentina. Esta afirmación se basa en la revisión exhaustiva de las fuentes de información de todos los organismos involucrados, tanto públicos como privados, en la problemática. Se puede afirmar que no existe una sistematización de datos específicos de iluminación ni procedimientos de recopilación por parte de la autoridad competente. Además, no hay información disponible sobre el mercado, la cantidad de lámparas consumidas, ni su clasificación por diferentes tipos, modelos y potencia. Las empresas que importan o comercializan lámparas son reacias a proporcionar los datos. En este contexto, resulta poco probable estimar o calcular el consumo de los circuitos de alumbrado con un nivel de certidumbre aceptable.

La estimación del consumo y la eficiencia de la iluminación, datos fundamentales en la planificación y el análisis energético de cualquier país, pueden establecerse utilizando, entre otros métodos, el consumo anual de lámparas, tal como se aplica en el presente trabajo. Este enfoque se basa en la publicación "Metrología de la eficiencia en sistemas de iluminación, incluyendo el aprovechamiento energético del alumbrado natural"(L. Assaf), donde se propone un método de cálculo de la energía. La estimación del consumo es de particular utilidad en el presente puesto que da una perspectiva de las políticas adoptadas por el estado en materia energética y que afectaron el mercado de la iluminación. Los instrumentos fundamentales en tal política han sido la normalización y etiquetado de eficiencia energética de productos, los que incidieron tanto en la calidad y tipo de lámparas del mercado, modificando el consumo y la eficiencia global del sistema. Estos instrumentos, si bien provenían de larga data, como la resolución Nº 319/1999 de la ex Secretaría de Industria, Comercio y Minería (SICy M) fueron impulsados a partir del DNU Nº 140 promulgado en diciembre de 2007. Puede considerarse entonces que la transformación del mercado se inicia en el año 2008 continuando en el año 2012 (cambio de las lámparas incandescentes por fluorescentes compactas) y en el 2017(aparición masiva en el mercado de la iluminación de estado sólido).

La información incompleta del mercado ha podido ser superada merced a una circunstancia imprevistamente derivada de las normas y regulaciones mencionadas; la puesta en vigencia de la ley Nº 26473/08 estableciendo la prohibición de comercialización de lámparas incandescentes trajo como resultado que la fábrica de OSRAM Argentina, que abastecía el 70% del mercado local, haya cesado su producción en 2010. A partir de allí se supone que el consumo ha sido abastecido únicamente por operaciones de importación registradas por la Dirección General de Aduanas. Siendo estos datos de dominio público, es posible reconstituir la información faltante sobre el mercado argentino. En este contexto, el procedimiento del análisis del consumo de lámparas se torna ineludible ya que es el único viable para determinar el consumo en iluminación.

2. MODELO DE PREDICCION DEL CONSUMO A PARTIR DEL MERCADO DE LÁMPARAS

La disminución del consumo del sistema por el cambio de tecnologías de iluminacion ha sido estimada por voceros oficiales, pero sin aportar un método de cálculo que lo fundamente, por lo que aplicar un procedimiento con mayor sustento, tal como el basado en el consumo de lámparas puede resultar de utilidad. El modelo adoptado asume que la reposición de cada lámpara en el mercado está necesariamente ligada con un consumo determinado. Es decir, que los datos del consumo de lámparas en el mercado implican un consumo de energía en iluminación. Es aceptable suponer que, durante toda su vida, una lámpara que ha dejado de funcionar y ha sido reemplazada por otra, necesariamente implicó un consumo de energía, W_L:

$$W_L = P_L . T_L . 10^{-3} \qquad (1)$$

Dónde:

W_L es la energía consumida por una lámpara (kWh)

P_L es la potencia de la lámpara y (si correspondiera) equipo auxiliar (W)

T_L es el tiempo de uso de la lámpara (h)

Idénticamente es posible determinar la energía anual consumida por grupos o clases de lámparas:

$W_{LAi} = N_i . \alpha_i P_{Li} . T_{LUi}$(2)

Siendo:

W_{LAi}: consumo anual de las lámparas de clase i (Wh)

Ni número de lámparas consumidas en un año (unidades)

αi: factor de reposición; fracción de lámparas destinadas a reposición sobre total

T_{Lui} : vida útil de la lámpara i (horas)

P_{Li}: potencia de la lámpara y (si correspondiera) equipo auxiliar

3. FUNDAMENTO TEÓRICO DEL CÁLCULO PROPUESTO

La precisión del método propuesto se sustenta en la calidad de la estimación de los factores que lo conforman, especialmente en lo que respecta al número de lámparas consumidas (Ni) duración o vida (T_{Lui}) y potencia de lámpara (P_{Li}).

La determinación de los datos de la Dirección General de Aduanas, fueron cruzados con la base de datos de NOSIS SA. En cuanto a vida y potencia hemos adoptado valores del banco de ensayos de lámparas y equipos de iluminacióndel Departamento de Luminotecnia de la Universidad Nacional de Tucumán, a los efectos de complementar la información de fabricantes. Esto es especialmente apropiado en razón que, de acuerdo con los resultados experimentales, la duración y potencia de muchos tipos de lámparas pueden diferir de los valores especificados de fábrica, lo cual es relevante para los cálculos de consumo. Se aplicaron las siguientes definiciones y criterios:

A) Vida o duración de lámpara: valor estadístico representativo de la cantidad de horas encendidas desde el primer momento hasta que ha dejado de funcionar o ha sido reemplazada por otra. Los valores considerados en el cálculo están basados en ensayos de lámparas realizados en el Departamento de Luminotecnia de la Universidad Nacional de Tucumán, que verifican una duración menor a la consignada en los catálogos de las lámparas, los cuales siempre están referidos a condiciones nominales de funcionamiento (tensión estabilizada, temperatura controlada, etc.).

B) La Potencia Ponderada de una determinada clase de lámpara: es la potencia equivalente de una lámpara, tal que si cada lámpara de su misma especie de todas las instalaciones de interés fueran reemplazadas por ésta, el resultado en la potencia y la energía total no variarían. Esto es necesario a fin de sortear los inconvenientes de la escasa información que tienen los datos de Aduana. El caso de lámparas fluorescentes compactas, agrupadas en la clase “COMPACTAS INTEGRALES MENOR 60 W 200-240 V” comprende una familia de lámparas cuyas potencias varían entre los 3W y los 26 W. Si se conociese la cantidad correspondientes a cada potencia, podría determinarse la potencia ponderada:

$$P_{Li} = \frac{\sum P_i . N_i}{\sum N_i} \quad (3)$$

Donde:

P_{Li} es la potencia ponderada de una lámpara del mismo tipo i incluyendo (si correspondiera) equipo auxiliar

P_i es la potencia de una lámpara del mismo tipo i incluyendo (si correspondiera) equipo auxiliar

N_i cantidad de lámparas de potencia Pi

Ya que se carece de esa información en los registros de aduana se adaptó los perfiles de mercado obtenidos de encuestas y relevamiento de instalaciones]. Estos valores fueron corregidos, además, por los cambios en la potencia debido a variaciones de tensión de red y tolerancias normales en la manufactura.

C) Factor de reposición: αi fracción correspondiente a las lámparas destinadas a reposición. Este factor contempla el hecho de que no todas las lámparas importadas reemplazan las deterioradas, sino que pueden destinarse a ampliar el stock de los comerciantes o formar parte de una nueva instalación. En ninguno de estos casos puede asociarse a un consumo de energía. Se adoptan criterios similares a los adoptados en el trabajo de referencia.

4. MERCADO DE LÁMPARAS EN LA ARGENTINA

Los datos del consumo fueron extraídos de la Dirección General de Aduanas y corroborados con otras fuentes privadas. Los resultados, correspondientes al período 2018-2022 son expuestos en la tabla Nº 1 y N°2.

Tabla 1: Consumo de lámparas (unidades por año)

Tipo de Lámpara/año	2018	2019	2020
INCANDESCENTES HALOGENAS	36.240.380	32.562.540	25.362.321
FLUORESCENTES LINEALES Y COMPACTAS	7.193.910	5.954.365	4.025.215
DESCARGA ALTA INTENSIDAD (Na y Hg)	3.379.828	2.956.156	2.756.214
LAMPARAS CON DIODOS EMISORES DE LUZ	198.670.620	210.253.582	214.632.854

Datos: DGA

Tabla 2: Consumo de lámparas (unidades por año)

Tipo de Lámpara/año	2021	2022
INCANDESCENTES HALOGENAS	18.980.653	14.789.654
FLUORESCENTES LINEALES Y COMPACTAS	2.790.876	2.090.876
DESCARGA ALTA INTENSIDAD (Na y Hg)	1.850.987	1.678.873
LAMPARAS CON DIODOS EMISORES DE LUZ	237.098.965	275.874.908

Datos: DGA

Según los datos, a partir del año 2018, se observó un aumento significativo en la demanda de lámparas LED, lo que resultó en un aumento en las importaciones. Además, se registró una disminución notoria en las importaciones de otros tipos de lámparas, tales como las fluorescentes, fluorescentes compactas y halógenas. Después de alcanzar el pico de importación en los años 2018 y 2019, la tasa de crecimiento disminuyó debido a la mayor durabilidad de las lámparas LED en comparación con las demás.

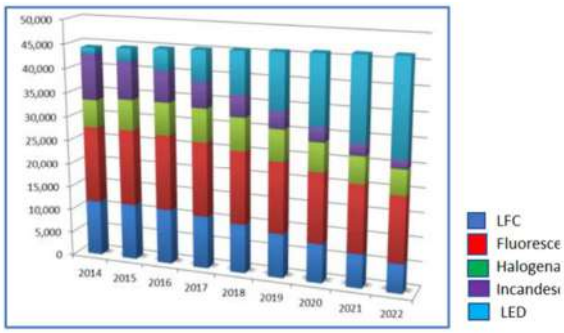
Figura 1: Comparación de importación de Fluorescentes, LFC y Halógenas

Figura 2: Importación de lámparas SSL

5. ANÁLISIS DEL CONSUMO PRE Y POST REGULACIONES DE LÁMPARAS

De acuerdo con los datos históricos, se puede considerar que el año 2008 marcó el comienzo de la transición del mercado voluntario al regulado, mediante la implementación obligatoria de etiquetado en las lámparas. Este proceso se estabilizó en el año 2012. Durante este período, los consumidores de lámparas eléctricas se vieron obligados a cambiar su arraigada preferencia por las lámparas incandescentes, a pesar de las campañas a favor de otros tipos de lámparas. Este proceso puede describirse a través de una serie de efectos en el mercado, a saber: A) Disminución y cese de la fabricación nacional de lámparas incandescentes, lo que resultó en un aumento consecutivo de las importaciones hasta la sustitución total de la cuota nacional, B) Consumo gradual de lámparas fluorescentes compactas, y C) Uso masivo de la iluminación de estado sólido, es decir, las lámparas LED.

En el año 2019, se registró un récord en las ventas de dispositivos LED en todo el mundo, con una cifra superior a los 10 mil millones de unidades, que incluyen tanto fuentes de luz (bombillas, tubos, módulos) como luminarias. Tanto el desarrollo de LED residenciales como comerciales está avanzando, y las ventas de LED han superado por mucho a las lámparas fluorescentes. A medida que los costos de los dispositivos LED continúan disminuyendo, se espera que las ventas mantengan una trayectoria positiva. Sin embargo, se requiere un crecimiento sólido y constante para que los dispositivos LED representen más del 90% de las ventas para el año 2030.



Fuente: US DOE

Figura 3: Comparación de importación de Fluorescentes y LFC, LEDS y Halógenas

En Argentina, a partir del año 2017 se inició el proceso de transición tecnológica de lámparas fluorescentes compactas (LFC) a lámparas con tecnología de iluminación de estado sólidomostrando un notable aumento en la demanda de este tipo de lámparas en detrimento de las LFC y las lámparas fluorescentes lineales, siguiendo la tendencia de crecimiento a nivel mundial.

6. CÁLCULO DEL CONSUMO POR AÑO

En conocimiento de la cantidad importada por el mercado de lámparas se está en condiciones de realizar el cálculo del consumo, segmentado por tipo de fuente (Tabla 3)

Tabla 3: Participación de la iluminación en el consumo de electricidad (2018-2022)

	2018	2019	2020
Consumo de Electricidad en Argentina (TWh)	137,82	133,99	135,38
Consumo en Iluminación (TWh)	15,25	14,50	15,90
Participación de la iluminación en el consumo de electricidad	11,07%	10,82%	11,74%

	2021	2022
Consumo de Electricidad en Argentina (TWh)	133,88	138,7
Consumo en Iluminación (TWh)	15,20	15,8
Participación de la iluminación en el consumo de electricidad	11,35%	11,39%

7. CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA, ESPECIFICADO POR AÑO Y TIPO DE FUENTE

La eficiencia es un dato más interesante que el consumo. Como indicador ha sido propuesto la eficiencia luminosa media de lámparas (εm) entendiéndose por tal al promedio ponderado de eficiencia de todas las lámparas que se usan en la República Argentina

$$\varepsilon_m = \frac{\sum \varepsilon_i CA_i}{\sum CA_i} \qquad (4)$$

Siendo:

εi = Rendimiento energético de la lámpara i
C_{Ai} = Consumo del conjunto de lámparas i

La tabla 4 muestra un análisis de la evolución del consumo y la eficiencia de los sistemas de alumbrado, mostrando una clara evolución en la eficiencia

Tabla 4: Análisis del consumo en iluminación y eficiencia.

	1997	2007	2012	2018	2022
Consumo de Electricidad en Argentina (TWh)	59,00	92,00	108,00	137,00	138,7
Consumo en Iluminación (TWh)	15,00	22,00	19,00	15,25	15,8
Participación de la iluminación en el consumo de electricidad	26,00%	24,00%	17,00%	11,13%	11,39%
Eficiencia Global del Sistema (lm/W)	32,5	60,2	67,1	71,2	76,3

8. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Los datos presentados muestran el consumo de electricidad en Argentina y el consumo de electricidad destinado a la iluminación en los últimos cinco años y la participación de la iluminación en el consumo total de electricidad.

En general, se observa que el consumo de electricidad en Argentina ha sido relativamente estable en los últimos cinco años, con fluctuaciones menores en los valores totales. En 2022, el consumo de electricidad fue de 138,7 TWh, un valor superior al promedio de los últimos cinco años.

Por otro lado, se observa que el consumo de electricidad destinado a la iluminación ha sido variable en los últimos cinco años, con un mínimo en 2019, y un máximo en 2022. En promedio, el consumo de electricidad en la iluminación representa el 11% del consumo total de electricidad en Argentina.

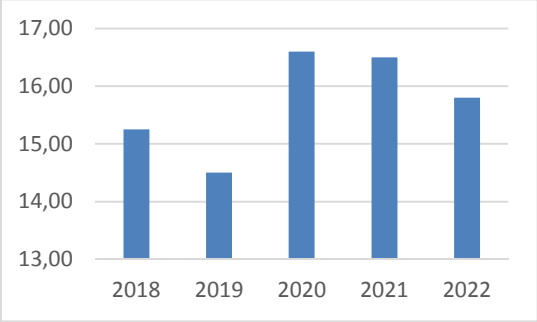


Figura 4: Consumo en Iluminación (TWh)

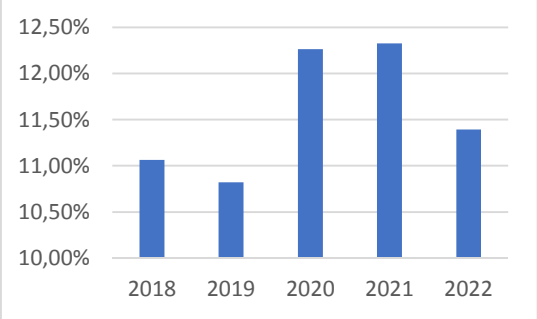


Figura 5: Participación de la iluminación en el consumo de electricidad

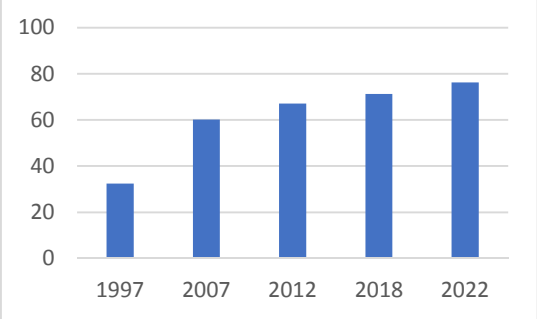


Figura 6: Eficiencia global del sistema (lm/W)

9. CONCLUSIONES

Entre los años 2019 al 2022 el consumo de electricidad tuvo una variación positiva de un 3.5%. No obstante, merced a tecnología de eficiencia,el consumo en iluminación se ha incrementado un 8.9 % manteniendo su importancia como grupo de consumo en el 11%. Lo que es más notable es la mejora de la eficiencia, que era 67,1 lm/W (2012) a 76.3 lm/W (2022), lo que habla a las claras que hoy se utiliza mucho más luz que en 2012, sin que ello haya impactado tanto en términos energéticos; de haberse mantenido los cánones de consumo con la eficiencia de 2012, se requeriría hoy mucha más energía que la que se está consumiendo. Una demostración indiscutible de las ventajas de la eficiencia energética en iluminación.

La iluminación representa una oportunidad importante para mejorar la eficiencia energética en Argentina, ya que su consumo representa una parte significativa del consumo total de electricidad. La implementación de tecnologías SSD y sistemas de control de iluminación más eficientes puede ayudar a reducir el consumo de electricidad y, por lo tanto, las emisiones de gases de efecto invernadero.

En resumen, el análisis del consumo de electricidad en iluminación en Argentina muestra una participación significativa en el consumo total de electricidad y una variabilidad en los últimos cinco años. Estos resultados enfatizan la importancia de mejorar la eficiencia energética en la iluminación con la masificación del uso de tecnologías más eficientes y sistemas de control más precisos.

10. REFERENCIAS

IRAM – (2006) Norma 62404-1-2-3 - Etiquetado de Eficiencia Energética para lámparas eléctricas para iluminación general

Assaf L (2004) Metrología de la Eficiencia en sistemas de iluminación, incluyendo el aprovechamiento energético del alumbrado natural. *Tesis Doctoral – Departamento de Postgrado, Universidad Nacional de Tucumán*.

Energy efficiency&renewableenergy

https://www.energy.gov/eere/ssl/solid-state-lighting.

IEA, International Energy Agency

Junio 2021

Assaf L, Dutt GS. (2000) “Potencial de ahorro mediante el uso de lámparas eficientes en la República Argentina”. *Revista LUMINOTECNIA Nº 68, Asociación Argentina de Luminotecnia, AADL*

Assaf, Leonardo; Estevez, Miguel. (2014). "Eficiencia global del alumbrado mediante el análisis del mercado de lámparas". *XII Conferencia Iberoamericana de Iluminacion-Luxamerica2014*

Cammesa. (2018-2022). *Informes Anuales de Demanda Eléctrica.*

Energy, D. o. (2020). *Global LampInstalled Base*.Obtenidode https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/02/f29/smallwood_mktadoption_raleigh2016.pdf

Factores que influyen en la purificación decarbonato de litio calidad batería

González, Diego Alejandro[1]; Lucena, María Cecilia[1];Gramajo, Mónica Beatriz[1]; Brancher, Santiago.[1]

(1) Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán.
dgonzalez@herrera.unt.edu.ar;cecilucen@gmail.com;mgramajo@herrera.unt.edu.ar; santiagomatias495@gmail.com

RESUMEN

El proceso de purificación de carbonato de litio tiene como finalidad refinarlo desde 96% al 99%que corresponde a la calidad batería. La cristalización, dentro de ese proceso, está influenciada por tres variables: latemperatura, el caudal de recirculación de la pasta purificada y el caudal de alimentación del cristalizador que proviene de las columnas de intercambio iónico. Estas variables y su control son de vital importancia dado que modifican el tamaño de las partículas afectando su buen crecimiento y la estabilidad de sus diámetros. Con la finalidad de evaluar la influencia de estas variables se tomaron muestras en los cristalizadores y se midió el tamaño de la partícula mediante difracción laser MICROTRAC MRB teniendo en cuenta las variaciones en temperatura, caudal de recirculación y caudal de alimentación. Se pudo evidenciar que a mayor temperaturaocurren dos situaciones; a mayor caudal de alimentación es mayor el tamaño de partículas, y, por el contrario, a mayor recirculación es menorel tamaño de partículas.

ABSTRACT

The purpose of the lithium carbonate purification process is to refine it from 96% to 99%, which corresponds to battery quality. Crystallization, within this process, is influenced by three variables: temperature, the recirculation flow of the purified paste, and the flow rate of the crystallizer that comes from the ion exchange columns. These variables and their control are of vital importance since they modify the size of the particles, affecting their good growth and the stability of their diameters. In order to evaluate the influence of these variables, samples were taken in the crystallizers and the particle size was measured by means of MICROTRAC MRB laser diffraction, taking into account the variations in temperature, recirculation flow and feed flow. It was possible to show that at higher temperatures two situations occur; the higher the feed flow rate, the larger the particle size, and, conversely, the higher the recirculation, the smaller the particle size.

Keywords: Lithium – Process - Extraction - Crystallizers

1. INTRODUCCION

El litio es un elemento que presenta relativa abundancia en la corteza terrestre, se lo puede encontrar tanto en rocas como también disuelto en aguas marinas y continentales. Las salmueras naturales, son depósitos que tienen mayor concentración de litio, en ellos se encuentra el elemento disuelto como ión, también está presente en aguas subterráneas de algunos salares, acompañado de potasio, magnesio y boro. Porlo general la mayor parte del litio en estos depósitos proviene de aguas geotermales, o tal vez en parte de la lixiviación de cenizasvolcánicas, arcillas o de otras rocas ricas en este elemento. Por lo tanto, cuando estas aguas geotermales diluidas llegan a la superficie terrestre a cuencas cerradas e impermeables, más precisamente a los salares y en un clima árido, se concentran por el proceso de evaporación solar.Estas salmueras de litio dan lugar aun número reducido de grandes depósitos a

nivel mundial. En Sudamérica existe un área conocida como el "Triángulo del litio" que concentra aproximadamente el 85% de este elemento en el mundo. Lo integran el salar de Atacama en Chile, el salar del Hombre Muerto en Argentina y el salar de Uyuni, en Bolivia; este último contiene el 45% de las reservas mundiales de litio. La extracción de salmueras de litio se realiza a través del bombeo debajo de la corteza salina (30 a 50metros de profundidad), las que son depositadas en piletones de baja profundidad y grandes dimensiones, en las cuales, y a partir del proceso de evaporación solar, comienzan a decantar secuencialmente un conjunto de sales. El proceso de evaporación, eleva la concentración de las sales, haciendo que la salmuera concentre mayor cantidad de litio. Hay que destacar que la evaporación no consume energía artificial, es decir aquella que se obtiene por acción del hombre a través de procesos físicos o químicos. Este proceso depende de las condiciones meteorológicas del lugar (radiación solar, vientos, velocidad de evaporación y régimen de lluvias). La tasa de evaporación es una medida de la cantidad de agua que se evapora en un determinado tiempo, la medida de la misma en las piletas in situ resulta compleja, es por ello que la estimación de la misma se realiza a través de evaporímetros o tanques de evaporación que de manera análoga respondan a las mismas variables climáticas. El concentrado obtenido por evaporación, rico en cloruro de litio (LiCl), es llevado a un proceso de purificación, y luego se añade carbonato de sodio (Na_2CO_3) para generar carbonato de litio (Li_2CO_3). En los últimos años, con el desarrollo de las industrias de baterías y monocristales en el mundo, la demanda está creciendo dramáticamente, mientras que su oferta es deficiente en cierta medida. En consecuencia, promover la producción de Li_2CO_3 de alta pureza se ha vuelto altamente necesario en la actualidad. Estecompuestopuede ser utilizado en varias aplicaciones (fabricación devidrios y cerámicas, industria del aluminio, grasas lubricantes, etc.).De todos los usos aplicables del litio, como se mencionó anteriormente, las baterías son las que tienen mayor trascendencia debido a que constituyen la fuente de energíade diversos equipos electrónicos teléfonos celulares, notebooks, tablets, etc. Estos dispositivos están diseñados para almacenar energía eléctrica, que emplea comoelectrolito una sal de litio que contiene los iones necesarios para la reacción electroquímica reversible que tiene lugar entre el cátodo y elánodo. Sin estas baterías no hubiera sido posible el desarrollo de la tecnología actual, y cada vez son más compactas y pequeñas (De la Hoz et al. 2013).

Para obtener carbonato de litio al 99% ,debe tenerse en cuenta el proceso que lo antecede:

La salmuera es extraída de piletas donde previo al ingreso al proceso industrial es pretratada mediante un proceso de apagado de cal (conversión de óxido de calcio a hidróxido de calcio mediante agregado de agua) para abatir al ion calcio (González et al. 2019). En esta instancia la salmuera ingresa a la planta industrial donde atraviesa una serie de operaciones unitarias, la primera es la reacción química que se produce cuando la misma reacciona con un licor madre remanente del proceso para producir bicarbonato el cual atravesará un tándem de centrifugas y posterior filtrado, para eliminar sulfatos y magnesio presentes.

Luego de las etapas mencionadas la solución es recibida en un tanque pulmón que alimentara a los reactores tipo TAC (tanque agitado continuo) los cuales además son alimentados con carbonato de sodio y en donde bajo ciertas condiciones de presión temperatura y velocidad de agitación se produce carbonato de litio, que finalmente es enviado a un filtro banda donde la fase rica en carbonato de litio tiene una composición al 96%.

Proceso de purificado de carbonato de litio 96%

El carbonato de litio con una composición al 96% debe pasar por un proceso de “purificación” que consiste en un método de carbonatación-descomposición a fin de producir Li_2CO_3 de alta pureza. Por ser una operación relativamente simple, de bajo costo, alta eficiencia y baja contaminación, es uno de los procesos más utilizados. Para este método, el Li_2CO_3 primario (96%) debe convertirse primero en $LiHCO_3$ soluble en agua mediante carbonatación con soluciones de CO_2-H_2O; las impurezas del Li_2CO_3 crudo se solubilizan o precipitan, y las impurezas disueltas se separan de las soluciones de $LiHCO_3$ mediante métodos de purificación adecuados, como intercambio iónico o extracción con disolventes; luego, el Li_2CO_3 de alta pureza se precipita calentando la solución de $LiHCO_3$purificada.

La precipitación de Li_2CO_3 descrita anteriormente implica diversas reacciones químicas en serie, y el

posible mecanismo puede expresarse mediante las siguientes ecuaciones:

$$LiHCO_3 \leftrightarrow HCO_3^- + Li^+ (1)$$

$$HCO_3^- \leftrightarrow CO_3^{2-} + H^+ (2)$$

$$H^+ + HCO_3^- \leftrightarrow CO_2 + H_2O (3)$$

$2Li^+ + CO_3^{2-} \leftrightarrow Li_2CO_3$(4)Solución saturada

Li_2CO_3Solución saturada $\rightarrow$ Li_2CO_3solución supersaturada

Li_2CO_3Solución supersaturada $\rightarrow$ Li_2CO_3solución supersaturada$\rightarrow Li_2CO_3$cluster molecular

Li_2CO_3Cluster molecular$\rightarrow Li_2CO_3$nucleos de cristalización

Li_2CO_3Nucleos de cristalización$\rightarrow Li_2CO_3$cristal granulado

De manera que la ecuación general del proceso puede ser descripta por

$$2LiHCO_3 \rightarrow Li_2CO_3 \downarrow + H_2O + CO_2 \uparrow$$

(Wen-tao Yi , Chun-yan Yan , Pei-hua Ma et al. 2010)

Este proceso consiste en alimentar el tanque de repulpeo con el carbonato de litio 96% obtenido de la primera etapa del proceso, y luego la pulpa es bombeada a los absorbedores dispuestos en serie. En cada absorbedor se inyecta CO_2esto permite que el carbonato de litio se convierta en bicarbonato de litio soluble, que se acumula en el tanque de recepción de absorbedores, tal como se indica en la siguiente reacción:

$$Li_2CO_3 + H_2O + CO_2 \rightarrow 2LiHCO_3$$

La solución acumulada en dicho tanque es filtrada para separar la solución rica en bicarbonato de litio y el carbonato sin reaccionar. El material sólido es enviado a un tanque de acumulación, mientras que la solución se somete a un proceso de intercambio iónico con resinas, en dos etapas.

Intercambio iónico

La operación del sistema de Intercambio iónico tiene como finalidad disminuir el contenido de impurezas en la solución de bicarbonato de litio, en particular Calcio, Magnesio, Boro.Este proceso utilizados resinas especialmente adaptadasaltratamientodesoluciones de bicarbonato de litio. Estasseencuentranendosgruposdetres equiposdelechosderesina.
Enlaprimeraetapaseutiliza un tipo de resina, quepermitela remociónde ladureza ymetales presentes (Ca yMg), en lasolución de bicarbonato de litio mientrasque en la segunda etapase utilizará otra resina de distintas características, quepermitelaremocióndelboro. Enambasetapas, seutilizandos equiposenserie, demodoque en el primero se lleva a cabo la primera etapa de remoción que contempla concentracionesmás elevadas del metal a extraer mientras quela otra columna elimina los restos que pueden haber quedado de la etapa anterior. Es decir, habrácuatroequipostrabajandoenserie.
Cadaetapadisponedeun total de tres equipos, de modo que siempre puedan estar dos trabajando en serie, mientras el tercero se regenera o queda en espera una vez regenerado. En todos los casos, la operación de intercambio y de regeneraciónserealizancondirecciónde flujo, dearribahaciaabajo. Lasresinasestán constituidas por una superficierecubierta con cationes sodio, reteniendoladureza, metales yboro, quesonreemplazadosporionessodio. Sinembargo, dadoqueestas resinasestánespecialmenteadaptadasaltratamientod esolucionesconcentradas, retienenfuertementelos ionesmencionados, evitandoquelamismasoluciónactúecomoregenerant e.Por ello, paralaregeneración debeutilizarseunácido fuerte, sulfúricooclorhídrico, y luego medianteelpasajedesodacáusticaconvertirla resinaalaformasódica originalparavolveralascondicionesdeservicio. Este hecho ocasionaqueelprocesoderegeneración requiera de un tiempo considerable respecto al del procesoyen variasetapas (siselocomparaconunprocesocomúndeunablandado r).Eltiempoque demanda la regeneración es relativamente de 6 horas. La planta dispone de un conjunto de instrumentos cuyas señalesseonenviadasauntablerodecontrolprovistodeu nPLCquepermiteimplementartodaslasfunciones decontrolrequeridas, asícomoregistrarestasvariablesyloseventosquesepro ducen. Cada unidad de Intercambio posee una altura de 3,2m y 1,9mde diámetro, tiene una capacidad para4000l de resina, con revestimiento interiorde ebonita, unfalso fondo con strainers, una trampa de resinas ypor diseño, una pérdida de carga de 3bar a 65m^3/h y 4,5bar.

(Hoshino 2013; Intaranot et al. 2014, Joan et al.2014; Liu et al. 2015).

Previamente al ingreso a los cristalizadores la solución refinada de bicarbonato de litio se calienta a 50ºC en un intercambiador de calor en espiral. En los cristalizadores se continúa con el calentamiento siendo de 70ºC en el cristalizador A, 75ºC en el cristalizador B y 83°C en el cristalizador C. En este último, se produce la cristalización del carbonato de litio, por desorción de CO_2. El producto final se retira por rebalse y se envía al espesador por medio de bombas (Ya et al.2010).

La etapa de cristalización es una de las más importantes porque determina las condiciones óptimas del tamaño de las partículas para una buena filtración de la pasta rica en carbonato de litio. Fig.1

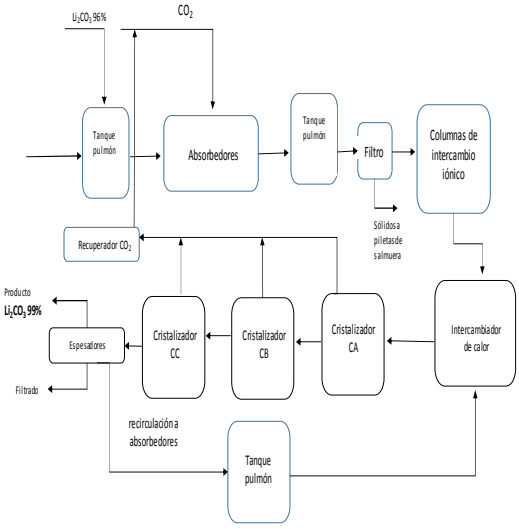


Fig.1: Proceso de obtención de carbonato de litiocalidad batería.

1.1 Planteo del problema

A menudo se observa variaciones significativas en los tamaños finales de los cristales, ocasionando un aumento en la recirculación a absorbedores, lo que lleva a una disminución en la concentración de entrada al cristalizador CA y por lo tanto a una disminución de la eficiencia del proceso en los cristalizadores.

Las condiciones operativas como caudal de pulpa rica en carbonato de litio, caudal de recirculación, temperatura de cristalización deben ser controladas en detalle para un buen crecimiento y estabilidad en el diámetro de los cristales. Los cristales de gran tamaño presentan la ventaja de un producto con una humedad adecuada a la hora de filtrarse.

Para obtener un buen control de las variables, temperatura, caudal de recirculación de la pasta purificada y caudal de alimentación del cristalizador que proviene de las columnas de intercambio iónico, se tomaron muestras de los cristalizadores y se midió tamaño de la partícula mediante difracción laser MICROTRAC MRB y caudal con el equipo MAG teniendo en cuenta las variaciones en temperatura, caudal de recirculación y caudal de alimentación (Holcombe, 1998).

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. Procedimiento

El ensayo se llevó a cabo durante seis días corridos en una empresa dedicada al desarrollo y producción de litio en la provincia de Jujuy en el mes de enero de 2023. Las muestras fueron tomadas cada 4 horas en los diferentes puntos que se observa en la figura 2. En cada muestra se analizó la distribución de diámetros de partículas. Las variables medidas para el análisis de cada muestra analizada fueron: temperatura, agitación de cada cristalizador y caudal de recirculación, de esta manera se podrá conocer con mayor detalle cómo trabaja cada uno de los cristalizadores. Una vez analizados el tren de cristalización, se realizará un análisis del espesador, para conocer la distribución de tamaños con la cual opera

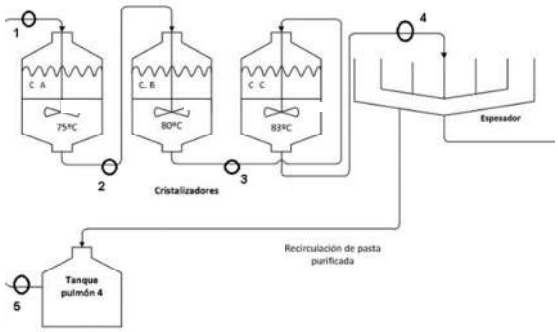


Fig.2: Puntos críticos de muestreo para analizar las posibles causas de la disminución de rendimiento en la etapa de cristalización: 1. Entrada de pulpa rica (caudal de pulpa rica +caudal de recirculación), 2. Salida de cristales de Cristalizador A, 3. Salida de Cristalizador B, 4.

Ingreso a Espesador, 5. Salida de Tanque pulmón (caudal de recirculación)

2.2. *Equipos*

El Microtrac MRB modelo S3500, sistema óptico triláser, rojo, multidetector, multiángulo, capacidad de medición de 0,02 a 2800 µm, principio de medición Difracción láser, láseres 3x rojo 780 nm, poder del láser 3 mW nominal, dos detectores fotoeléctricos fijos con segmentos espaciados logarítmicamente colocados en ángulos correctos para una detección de luz dispersa óptima de 0.02 a 165 grados usando 151 segmentos detectores.
MAG Siemens modelo 6000: son transmisores con un display alfanumérico incorporado en varios idiomas. Los transmisores evalúan las señales moduladas por los sensores electromagnéticos correspondientes y realizan además la función de una fuente de alimentación que abastece a las bobinas de excitación con corriente constante. Error de medición máx. ± 0,2 ± 1 mm/s, excelente resolución de señales para una relación caudal máx./mín. óptima

2.3. *Resultados*

Las condiciones operativas para el proceso de cristalización fueron:

Agitación: 50Hz

Temperatura CA: 75°C

Temperatura CB: 80°C

Temperatura CC: 83°C

Caudal de recirculación de espesador a CA: 20 l/h

El estudio detallado se centró en el cristalizador CA, dado que es el equipo donde se presentan la mayor cantidad de corrientes de entrada, de salida y las variables presentes actuando en conjunto.

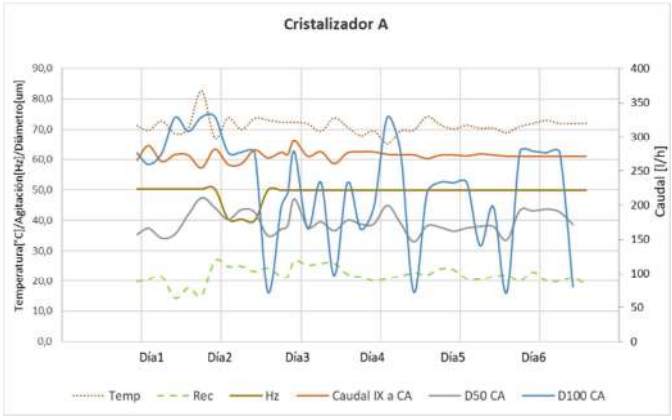


Fig.3: Seguimiento de temperatura, caudal de recirculación, agitación, caudal de entrada y tamaño de partícula

Con el fin de determinar la homogeneidad en la distribución de tamaños, se presentan las gráficas de los mismos en los tres cristalizadores durante los días de estudio.

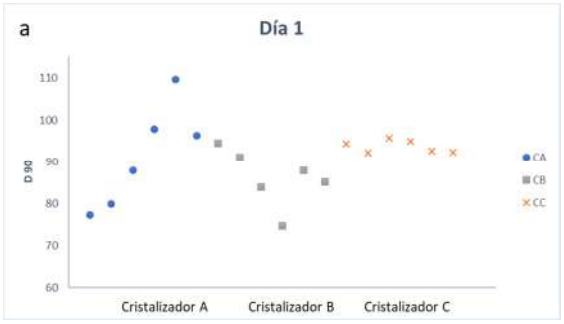


Fig.4 a: Distribución del tamaño de las partículas del 1er día

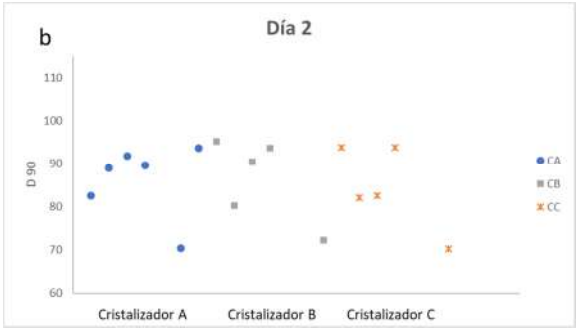


Fig.4 b: Distribución del tamaño de las partículas del 2do día

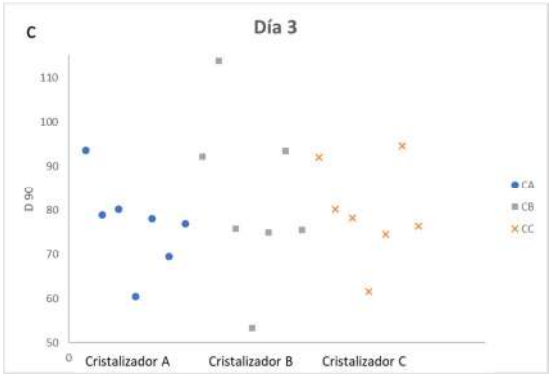


Fig.4 c: Distribución del tamaño de las partículas del tercer día

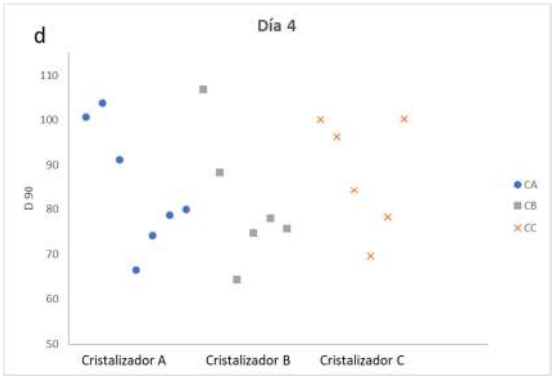


Fig.4 d: Distribución del tamaño de las partículas del cuarto día

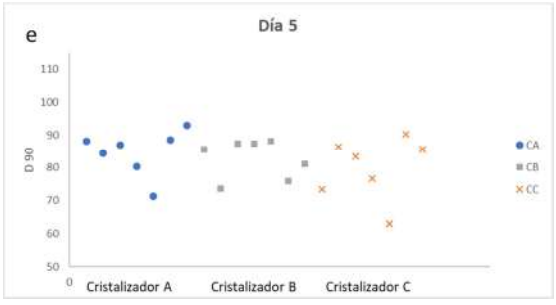


Fig.4 e: Distribución del tamaño de las partículas del quinto día

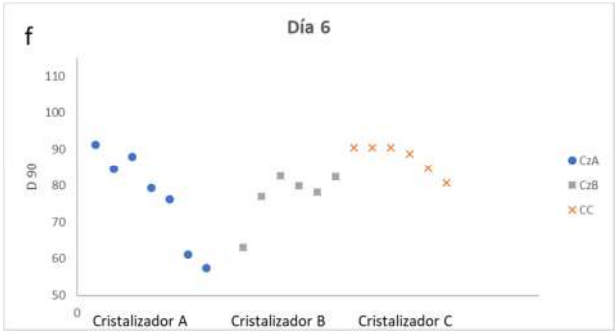


Fig.4 f: Distribución del tamaño de las partículas del sexto día

En las graficas se puedeobservar que los cristalizadores CB y CC, trabajan de manera similar, se aprecia claramente que la tendencia de crecimiento y homogeneidad viene dada por el cristalizador CA.
En el dia 1 de estudio los tubos se incrustaron razón por la cual se inyectó vapor directo, este cambio brusco de temperatura se aprecia mejor en la fig. 6.Los dias 2 y 5 el crecimiento fue controlado y estable, obteniendo una pasta homogenea para el espesador y filtro.

Análisis en el espesador

Con el fin de conocer la distribución de tamaños en cristales que ingresa al espesador, se realizó un análisis general a lo largo de los días del estudio

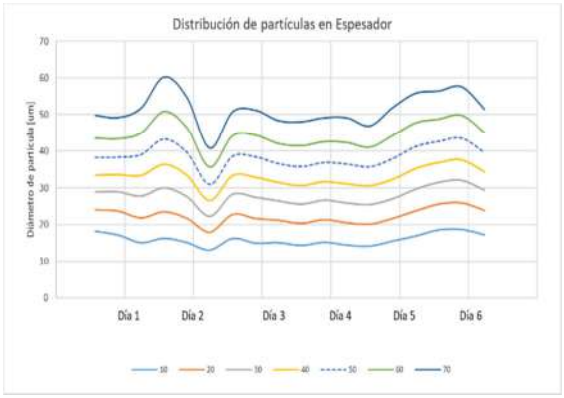
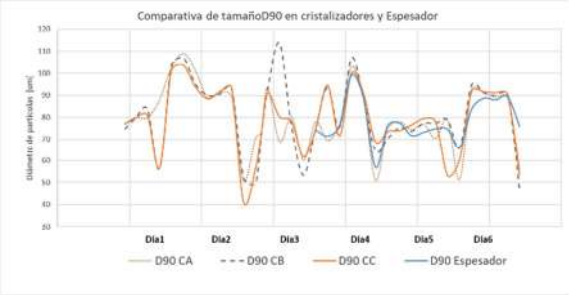


Fig. 5: Distribución general de tamaños de particulas que ingresan al espesador

En la Fig.5 se observa que durante el día 1,un aumento de tamaño de los cristales y luego una disminución de los mismos debido a la inyección de vapor que se debió efectuar a causa de la inscrustación de los tubos. Los días posteriores se obtuvieron tamaños estables en los cristales,

coincidiendo con los gráficos mostrados anteriormente.



.Fig. 6: Comparativa de tamaño D90 en tren de crsitalizadores y espesador

En Fig. 6 se presenta una grafica comparativa del tamaño D90 en el tren de los cristalizadores y el espesador.D90 designa el tamaño de partícula correspondiente al percentil 90, es decir, el valor de diámetro aerodinámico que divide la población de partículas de manera que el tamaño del 90 % de las partículas sea menor que dicho valor; D50 corresponde al diámetro aerodinámico mediano Se observa la fluctuación en la distribución de tamaño de los cristales,con picos pronunciados en los diferentes días, esto es una causa del rendimiento no esperado que presenta el proceso.

3. CONCLUSIONES

En el proceso de purificación de carbonato de litio, se busca obtener cristales de tamaño elevado debido a las siguientes ventajas:
- Poseen menor área superficial, esto dificulta la humectación, obteniendo cristales más secos para el proceso siguiente.
-Cristales grandes en los equipos CB y CC dan lugar a crecimiento rápido de los mismos, como consecuencia, se baja la cantidad de carbonato de litio en solución.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, el análisis se basó en interpretarcómo afectan las variables del proceso la distribución de tamaño de los cristales llegando a las siguientes conclusiones:
El factor con mayor incidencia en la etapa de cristalización decarbonato litio es la temperatura en el cristalizador CA, donde inicia el crecimiento del cristal a una temperatura de 75°C, en tanto en los cristalizadores CB y CC se observó una constancia en el tamaño de partículas operando a 80°C y 83°C respectivamente. La frecuencia de agitación a 50Hz y el caudal dealimentación con un valor promedio de 60lt/h de salmuera evidenciaron un mayor rendimiento en el proceso.
En ocasiones los intercambiadores de calor sufren incrustaciones propias del proceso, por lo cual deben ser asistidos con vapor inyectado proveniente de calderas, esta inyección genera un crecimiento heterogéneo, dando como resultado una pasta fuera de especificación para el ingreso al espesador, esto puede observarse en Fig. 5 y Fig. 6. El ingreso de este tipo de pasta provoca un aumento en el caudal de recirculación y por lo tanto una disminución en laconcentración inicialde la pasta rica en carbonato de litio, es por ello que tanto la inyección como la recirculación deben ser cuidadosamente controladas.Realizar la limpieza de cañerías y equipos para eliminar incrustaciones tales como intercambiadores,y evitar la inyección de vapor al proceso es fundamental para mantener la eficiencia de intercambio de calor y mantener los estándares de temperatura de las corrientes de proceso, así mismo en tanques y reactores para evitar daños en las paredes y aspas de agitadores. Otro aspecto a considerar es la verificación periódica en los puntos de medición de instrumentos y en accesorios como válvulas neumáticas, etc., donde también se acumulan incrustaciones.
Se considera necesario realizar una mayor cantidad de ensayos durante un tiempo más prolongado para tener un mejor seguimiento. Se sugiere un periodo de al menos dos semanas con una frecuencia de toma de muestra de dos horas, a fin derecabar datos más certeros que evidencien la consecuencia que tiene el cambio de las variables estudiadas en el crecimiento de los cristales, y así obtener una representación completa del proceso.

4. AGRADECIMIENTOS

A las instituciones a las que pertenecen los autores y sus respectivas Direcciones de Investigación PIUNT 26E621 por el apoyo otorgado para la realización de la presente investigación.

5. REFERENCIAS

Diego A. González, Gonzalo J. Bruhl, Mónica B. Gramajo.Estudio preliminar del contenido de aluminio en el proceso de extracción de litio. Avances en Ciencias e Ingeniería.11(2), 1-9 ,2020.

Calvo E.J. Almacenamiento de Energía: Presente y Futuro de Baterías de Litio. Ciencia e

Investigación, Tomo 68 (2), 5-21, 2018.

Chen, R.J., Qu, W.J., Guo, X., Li, L. & Wu, F. The pursuit of solid-state electrolytes for lithium batteries: from comprehensive insight to emerging horizons. Mater. Horas., 3, 487–516, 2016.

De la Hoz, M., Martínez, V. R., Media, J. L. El litio: desde los salares de la Puna a nuestros celulares Red de Repositorios Latinoamericanos. Vol. 3, Núm. 3, 58-67, 2013

Gruber, P.W., Medina, P.A., Kelekian, G.A., Kesler, S.E., Eversion, M.P. & Wallington, T.J. Global lithium availability a constraint for electric vehicles. J. Ind. Ecol., 15, 760–775, 2011.

Holcombe, H. The Fitness for Purpose of Analytical Methods. A Laboratory Guide to Method Validation and Related Topics. EURACHEM Guide. Eddington: 1998.

Hoshino, T. Preliminary studies of lithium recovery technology from sea water by electrodialysis using ionic liquid membrane. Desalination, 317, 11–16, 2013.

Intaranot, N., Garcia-Areas, N., Hector, A.L., Milton, J.A. & Owen, J.R. Selective lithium extraction from brines by chemical reaction with battery materials. J. Mater. Chem. A., 18, 6374–6377, 2014.

Jaskula, B.W. U.S. Geological Survey. Mineral Commodity Summaries 2018: U.S. Geological Survey, pp.98-99, 2018.

Jiang, Ch., Wang, Y., Wang, Q., Feng, H. & Xu, T. Production of lithium hydroxide from lake brines through electro-electrodialysis with bipolar membranes (EEDBM). Ind. Eng. Chem. Res., 53, 6103–6112, 2014.

Lang, S.Y., Xiao, R.J., GU, L., Guo, Y.G., Wen, R. & Wan, L.J. Interfacial mechanism in lithium-sulfur batteries: how salts mediate the structure evolution and dynamics. J. Am. Chem. Soc., 140, 8147–8155, 2018.

Liu, X.H., Chen, X.Y., He, L.H. & Zhao, Z.W. Study on extraction of lithium from Salt Lake brine by membrane electrolysis. Desalination, 376, 35–40, 2015.

Torres, A.E. & Balbuena, P.B. Exploring the LiOH formation reaction mechanism in lithium-air batteries. Chem. Mater., 30, 708–717, 2018.

Trócoli, R., Batiste, A. & Mania, F.L. Selectivity of a Lithium- recovery process based on LiFePO4. Chem. Eur. J., 20 (32), 9888–9891, 2014.

Yi W., Yan C., Ma Crystallization Kinetics of Li_2CO_3 from $LiHCO_3$ Solutions, Journal of Crystal Growth 312, 2345–2350, 2010.

Controlador óptimo con observación de estados basado en el principio del máximo de Pontryagin de bajo costo computacional

Herrera, Martín[1*]; Pucheta, Julián[1,2]; Salas, Carlos[2]; Patiño, H. Daniel[3]; Rodríguez Rivero, Cristian[4]

(1) Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional de Catamarca, Maximio Victoria 55, SFV de Catamarca, Argentina. mherrera@tecno.unca.edu.ar
(2) Departamento de Electrónica, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Av. Vélez Sarsfield 1611, Córdoba, Argentina. jpucheta@unc.edu.ar
(3) Instituto de Automática, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan, Av. Libertador General San Martín (Oeste) N° 1109. San Juan, Argentina. dpatino@inaut.unsj.edu.ar
(4) Cardiff School of Technologies, Cardiff Metropolitan University, Western Avenue, Cardiff, CF5 2YB, Wales. CRodriguezRivero@cardiffmet.ac.uk

Resumen

En este trabajo se presenta una metodología de diseño de un sistema controlador observador lineal cuadrático basado en el principio del máximo de Pontryagin para sistemas invariantes en el tiempo. Esto intenta contribuir a la necesidad de hacer que un proceso evolucione de una manera deseada, donde una variable evoluciona de un valor inicial dado a un valor final deseado por el usuario, a una velocidad acorde a los esfuerzos de la variable de control. Se considera la necesidad de la medición del vector de estados a partir del modelo, incorporando para ello un observador de estados. El cálculo clásico requiere resolver la ecuación matricial de Riccati, que involucra una descomposición espectral matricial que en el presente método es evitada. Para el cálculo del observador se emplea la metodología del dual del sistema original. Se muestran resultados en sistemas de dos, tres y cuatro variables de estado, donde se incorporaron los observadores correspondientes que incrementan el orden del sistema de lazo cerrado al doble y un orden incrementado debido a la integral del error de control.

ABSTRACT

In this paper, a methodology for the design of a quadratic linear observer-controller system based on the Pontryagin maximum principle for time-invariant systems is presented. The aim is to contribute to the need to make a process evolve in a desired way, where a variable evolves from a given initial value to a final value desired by the user at speed commensurate with the efforts of the control variable. The need to measure the state vector from the model is considered by incorporating a state observer. Classical calculations require solving the Riccati matrix equation, which involves a matrix spectral decomposition that is avoided in the present method. To calculate the observer, the dual methodology of the original system was used. Results are shown with two, three, and four state variables systems, where the corresponding observers that double the order of the closed-loop system and an increased order due to the integral of the control error were incorporated.

Palabras Clave: Control optimo, Hamilton – Jacobi – Bellman, Procesos dinámicos, Control automático.

Keywords: optimal control, Hamilton Jacobi Bellman equation, Dynamic process, Automatic control

1. INTRODUCCIÓN

Es frecuente que en los problemas de ingeniería se requiera que un proceso evolucione de una manera deseada, obteniendo un determinado valor en un tiempo acotado. En el caso de diseñar un control óptimo esto se ve con la dificultad de realizar constantes simulaciones en procesadores avanzados hasta llegar a una solución adecuada, con el método presentado se podrán ajustar los parámetros en línea en microcontroladores de bajo costo por el bajo coste computacional que presenta. Casos de ejemplos son el control de ángulo mediante un motor eléctrico, o lograr que un sistema inestable se estabilice en un equilibrio inestable como es el caso del péndulo invertido que puede relacionarse al caso de llevar una carga útil al espacio, control de estabilización de vehículos aéreos, etc. Se puede atender a esas necesidades con diversos planteos (Kirk 1970, Bertsekas 1996), pero si se agrega la restricción de que la solución debe demandar escasos recursos computacionales con el fin de implementarlo en un sistema embebido en tiempo real, se empiezan a acotar las propuestas (Herrera et al., 2021). En este trabajo se va a generar una solución de diseño para un sistema de un motor controlador con observación de variables de estados para ser aplicado en forma embebida en un microcontrolador.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para resolver el problema propuesto, se usa el esquema control con observación de estados que detalla por Dorf (2005). Allí está representada el sistema de ecuaciones de estado del sistema y el observador. La variable u_t representa la acción de control que puede emplearse para modificar la evolución de la variable de salida, que está representada por y_t. El objetivo de control es que y_t siga una referencia constante fijada por el usuario. Eso se logra mediante el esquema de orden incrementado (Ogata, 2010), que resulta en incrementar en uno el orden del vector de estados. Para la implementación del sistema se va a considerar la representación dinámica lineal de un sistema como

$$\dot{\mathbf{x}}_t = \mathbf{A}\mathbf{x}_t + \mathbf{B}\,u_t \quad (1)$$

$$\mathbf{y}_t = \mathbf{C}\mathbf{x}_t \quad (2)$$

y el sistema observador definido como

$$\dot{\hat{\mathbf{x}}}_t = \mathbf{A}\hat{\mathbf{x}}_t + \mathbf{B}u_t + \mathbf{K}_O\left(\mathbf{y}_t - \hat{\mathbf{y}}_t\right) \quad (3)$$

$$\hat{\mathbf{y}}(t) = \mathbf{C}\hat{\mathbf{x}}(t) \quad (4)$$

donde **A** es la matriz de estados, **B** la matriz de entrada, **C** la matriz de salida, $\mathbf{K}_o$ es el observador que debe calcularse, $\mathbf{x}_t$ es el vector de estados que contiene *n* variables, $\hat{\mathbf{x}}_t$ es el vector de estados observado obtenido de resolver la ecuación diferencial (3), u_t es la entrada y_t es la salida y $\hat{y}_t$ es la salida observada. El controlador tiene el objetivo de que la salida y evolucione de una manera deseada, alcanzando una referencia y_{ref}. Se define entonces, el error de control como

$$\dot{\xi}_t = y_t - y_{ref} \quad (5)$$

y el controlador va a considerar a la función ξ_t, para lograr el objetivo de control.

2.1 *Formulación del problema*

En virtud del modelo del proceso representado por su modelo lineal en (1) y (2), contando con su observador definido en las expresiones (3) y (4) se propone la ley de control lineal

$$u_t = \begin{bmatrix} -\kappa & K_I \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{x}}_t \\ \xi_t \end{bmatrix} \quad (6)$$

donde la acción de control u_t se obtiene a partir del vector de estados observados y la integral del error de la variable de interés, siendo κ y K_I las ganancias del controlador a determinar. El sistema (1) se amplía en un orden dada la integral del error ξ_t, por lo que ahora el vector de estados tiene orden *n+1*. A esta versión lineal se la puede representar en la forma canónica controlable con un controlador K empleando una transformación a través de la matriz T (Ogata, 2010) puede hallarse las ganancias como

$$\begin{bmatrix} \kappa & -K_I \end{bmatrix} = \mathrm{K}\mathrm{T}^{-1}. \quad (7)$$

se convierte al sistema original en un modelo del proceso expresado en su forma canónica controlable, es decir

$$\dot{x}_t = \begin{bmatrix} 0 & 1 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & 1 \\ -a_n & -a_{n-1} & \cdots & -a_1 \end{bmatrix} x_t + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} u_t \quad (8)$$

$$y_t = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \cdot x_t \quad (9)$$

donde x es el vector de estados de $n+1$ componentes, y la salida y tiene dos componentes lo que no quita generalidad al resultado encontrado del valor de K. Se propone un funcional de costo a minimizar definido como

$$J(x,u) = \frac{1}{2}\int_{t_0}^{t_f} \left[x_\tau^T Q x_\tau + R u_\tau^2 \right] d\tau \quad (10)$$

siendo Q una matriz simétrica y semi definida positiva, y R una matriz definida positiva, que son matrices de penalización definidas por el ingeniero diseñador del controlador. Para resolver el problema del controlador óptimo, se emplea el método descripto en (Herrera et al., 2021), resumido a continuación.

2.2 *Cálculo del controlador*

Se definen los valores de las matrices Q y R, para un caso de 3 variables de estado y una variable de salida, aunque en los casos trabajados en este estudio se tiene que **R** es un escalar, así

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} q_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & q_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & q_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & q_4 \end{bmatrix}, \mathbf{R} = R. \quad (11)$$

Una vez fijados Q y R, se procede a hallar el controlador, junto con los parámetros de la matriz de estados del sistema expresada en su forma canónica controlable, obteniendo el controlador canónico

$$K = \frac{1}{2R}\left[p_1 \quad p_2 \quad p_3 \quad p_4 \right], \quad (12)$$

y luego el controlador para implementar en sistema original como

$$\left[\kappa \quad -K_1 \right] = \frac{1}{2R}\left[p_1 \quad p_2 \quad p_3 \quad p_4 \right] T^{-1} \quad (13)$$

donde los parámetros p_i se calculan mediante

$$p_1 = \frac{-4a_4R + \sqrt{(4a_4R)^2 + 16q_1R}}{2} \quad (14)$$

$$p_2 = \frac{-4a_3R + \sqrt{(4a_3R)^2 + 16q_2R}}{2} \quad (15)$$

$$p_3 = \frac{-4a_2R + \sqrt{(4a_2R)^2 + 16q_3R}}{2} \quad (16)$$

y para p_4,

$$p_4 = \frac{-3a_1R + \sqrt{(3a_1R)^2 + 8q_4R}}{2}. \quad (17)$$

La demostración detallada basada en el principio del máximo de Pontryagin está en (Herrera et al., 2021). El cálculo detallado en las ecuaciones (14) a (17) puede emplearse para cualquier orden del sistema, sólo cambiando los coeficientes en el orden adecuado. Es decir, para implementar el controlador en el sistema, debe convertirse el controlador hallado al formato en el que se encuentre el sistema lineal, que no va a estar necesariamente en el formato canónico controlable.

2.3 *Cálculo del observador*

Para hacer el cálculo del observador, se emplea el método del sistema dual (Ogata, 2010) y a éste se le aplica el cálculo de un controlador LQR detallado en el apartado anterior. Esto es

$$\mathbf{A}_d = \mathbf{A}^T, \mathbf{B}_d = \mathbf{C}^T \quad (18)$$

pero como ahora B tiene dos columnas porque según la Ec. (9) **C** tiene dos filas, para aplicar el método se hace la transformación lineal de $\mathbf{B}_d$ a un vector **b** como

$$\left[\mathbf{A} - \mathbf{B}\,\mathbf{K} \right] = \left[\mathbf{A} - \mathbf{B}\,\mathbf{h}\,\mathbf{k} \right] \quad (19)$$

De tal manera que el par (**A**, **Bh**) sea controlable, y ahora **Bh** es un vector y así **R** del funcional (10) puede ser un escalar. Por lo tanto, aplicando el método descripto para el sistema dual, se obtiene un controlador que transpuesto será el observador $\mathbf{K_o}$ de la Ec. (3),

$$K_O = \left[\mathbf{h}\mathbf{k}\mathbf{T}^{-1} \right]^T. \quad (20)$$

Ahora se cumple con el requisito de que el observador sea estable, es decir que el error de observación de estados definido como

$$\tilde{x}_t = x_t - \hat{x}_t \quad (21)$$

tienda exponencialmente a cero ya que la ecuación diferencial del error definida como

$$\dot{\tilde{x}} = [A - K_o C]\ \tilde{x}, \quad (22)$$

tiene los autovalores con parte real negativa.

En la aplicación, el método detallado en (Herrera et al., 2021) se reduce a proponer los valores de la diagonal de las matrices Q y R que para el observador pueden ser llamadas Q_o y R_o para diferenciarlas de las del controlador.

3. RESULTADOS

La solución propuesta ha sido usada en sistemas de diversa complejidad, cuando se compara con los métodos clásico de entrada-salida (Dorf, 2005; Ogata, 2010). Se muestran resultados de cuatro casos en esta sección.

3.1 *Sistema de segundo orden*

El primer caso, es un sistema de fase no mínima típico de sistemas con retardo, extraído de la literatura (Dorf, 2005), con su función de transferencia definida en variable *s* de Laplace como

$$G(s) = \frac{2s-1}{s^2+3s+6}. \quad (23)$$

En este caso, el sistema es de segundo orden, pero al tener referencia no nula con integrador pasa a ser de tres y el observador de orden dos. Así el sistema completo es de orden cinco. Los valores para calcular el controlador de las matrices de diseño Q y R fueron $Q_{11}=1\cdot10^{3}$, $Q_{22}=1\cdot10^{4}$, $Q_{33}=1\cdot10^{5}$, $R=1\cdot10^{-1}$ y para el observador $Qo_{11}=1\cdot10^{3}$, $Qo_{22}=1\cdot10^{5}$, $Ro=1\cdot10^{-1}$. Los resultados de observan en la Fig. 1, donde está detallado el error de observación de estados en la gráfica del medio. En la superior está la evolución de la salida, que tiene como referencia el valor de 10 y abajo está la acción de control del sistema de fase no mínima controlado. El valor de R puede ser ajustado de en línea, para cambiar las respuestas del sistema.

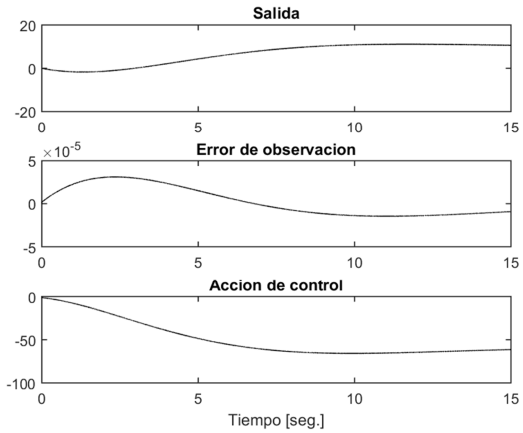


Fig. 1. Control de un sistema de segundo orden de fase no mínima.

3.2 *Sistema de tercer orden*

Con el mismo procedimiento, se controló el ángulo de un motor que trabaja con un torque pequeño para fines industriales que normalmente se usa con reductor, con las ecuaciones

$$\frac{di_a}{dt} = -\frac{R_A}{L_{AA}} i_a - \frac{K_m}{L_{AA}} \omega_r + \frac{1}{L_{AA}} v_a \quad (24)$$

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{K_i}{J} i_a - \frac{B_m}{J} \omega_r - \frac{1}{J} T_L \quad (25)$$

$$\frac{d\theta_t}{dt} = \omega_r. \quad (26)$$

con los valores siguientes para los coeficientes: $L_{AA}=366\cdot10^{-6}$, $J=5\cdot10^{-9}$, $Ra=55.6$, $B_m=0$, $K_i=6.49\cdot10^{-3}$, $K_m=6.53\cdot10^{-3}$. El modelo es de tercer orden, donde la corriente i_a, la velocidad angular ω_r y el ángulo θ_t forman el vector de estado, lo que genera un sistema control con observación de estados de referencia no nula de orden siete. Los valores de diseño para emplear el método detallado en (Herrera et al., 2021) fueron $Q_{11}=1\cdot10^{21}$, $Q_{22}=1\cdot10^{18}$, $Q_{33}=1\cdot10^{13}$, $Q44=1$, $R=1\cdot10^{-7}$ y para el cálculo del observador $Qo_{11}=1$, $Qo_{22}=1$, $Qo_{33}=1$, $Ro=1$. Los resultados para un torque del orden de $1{,}16\cdot10^{-6}$ Nm se detallan en la Fig. 2 para una referencia de θ_{ref} de 2 radianes.

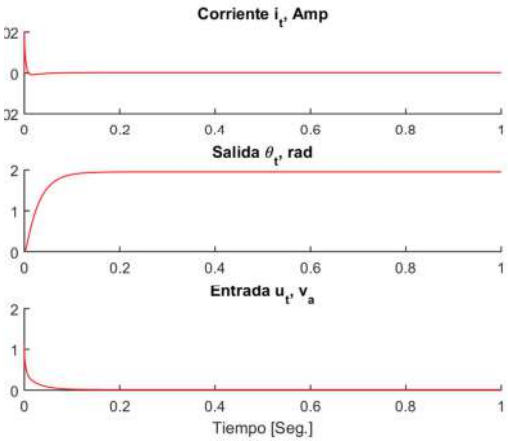


Fig. 2. Control de un motor de corriente continua para torques pequeños.

Análogo a lo anterior para un motor de tamaño mediano y de uso frecuente en la industria, se realizó el diseño del sistema de control con observación de estados con los valores de diseño $Q_{11}=1\cdot10^5$, $Q_{22}=1\cdot10^5$, $Q_{33}=1\cdot10^5$, $Q_{44}=1\cdot10^2$, R=1 y para el cálculo del observador $Qo_{11}=1\cdot10^3$, $Qo_{22}=1$, $Qo_{33}=1$, $Ro=1\cdot10^{-1}$. En la Fig. 3 se muestran los resultados para un torque que está en el orden de 0,01 Nm y una referencia de ángulo de θ_{ref} de 2 radianes.

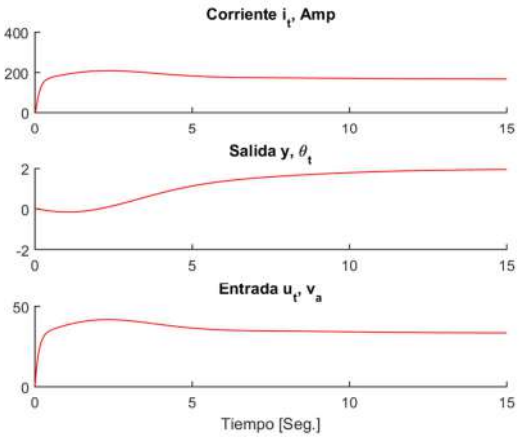


Fig. 3. Control de un motor de corriente continua para torques medianos.

3.3 *Sistema de cuarto orden*

Para finalizar, se implementó el mismo método para controlar un sistema de péndulo invertido como muestra la Fig. 4.

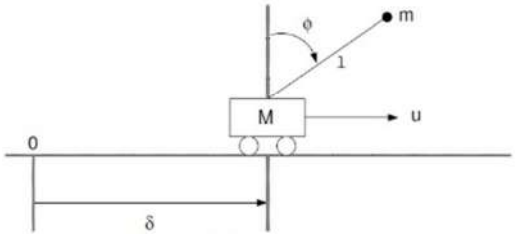


Fig. 4. Sistema del péndulo.

Este sistema, detallado en (Pucheta et al., 2017) es definido como

$$\begin{cases}(M+m)\ddot{\delta}+ml\ddot{\phi}\cos\phi-ml\dot{\phi}^2\mathrm{sen}\phi+F\dot{\delta}=u\\ l\ddot{\phi}-g\mathrm{sen}\phi+\ddot{\delta}\cos\phi=0\end{cases} \quad (27)$$

siendo ϕ el ángulo del péndulo respecto de la vertical, y δ el desplazamiento horizontal respecto del origen, como muestra la Fig. 4. Empleando Taylor en el equilibrio superior, se tiene la versión lineal para el equilibrio inestable, es decir, con la masa m ubicado en la parte superior, se tiene

$$A=\begin{bmatrix}0 & 1 & 0 & 0\\ 0 & -\frac{F}{M} & -\frac{mg}{M} & 0\\ 0 & 0 & 0 & 1\\ 0 & \frac{F}{lM} & \frac{g(m+M)}{lM} & 0\end{bmatrix}, B=\begin{bmatrix}0\\ \frac{1}{M}\\ 0\\ -\frac{1}{lM}\end{bmatrix} \quad (26)$$

con los valores para las constantes de m=.1, F=0.1, *l*=0.6; g=9.8; M=.5 y con una referencia de 100 metros para el desplazamiento, con la función de mantener vertical al péndulo, es decir en el equilibrio inestable. Para ello se empleó un controlador con observación de estados con las matrices de diseño $Q_{11}= 1\cdot10^1$, $Q_{22}=1\cdot10^3$, $Q_{33}=1\cdot10^5$, $Q_{44}=1\cdot10^5$ y $Q_{55}=1e^5$ con $R=1\cdot10^2$ para el controlador, y para calcular al observador se emplearon $Qo_{11}=1$, $Qo_{22}=1\cdot10^3$, $Qo_{33}=1\cdot10^5$, $Qo_{44}=1\cdot10^2$ con $Ro=1\cdot10^{-1}$. Los resultados se muestran en la Fig. 5 para diferentes ángulos iniciales, incluso π que significa que el péndulo estaba en el equilibrio estable y el controlador con observador lo lleva al equilibrio inestable y, además, lo traslada la distancia deseada de 100m desde el origen. La Fig. 6 muestra los planos de fase y la

acumulación de costo de éste sistema, que tiene dos variables observadas.

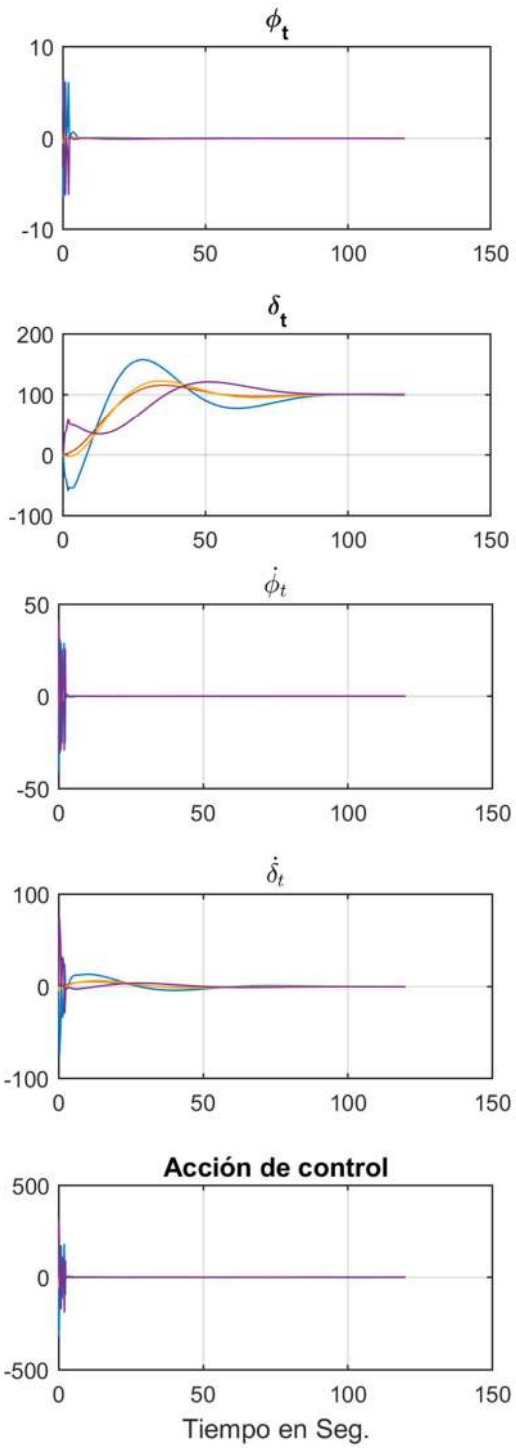


Fig. 5. Evolución de las variables de estado y de la acción de control para el péndulo invertido, partiendo de las condiciones iniciales ±π y ±0,6.

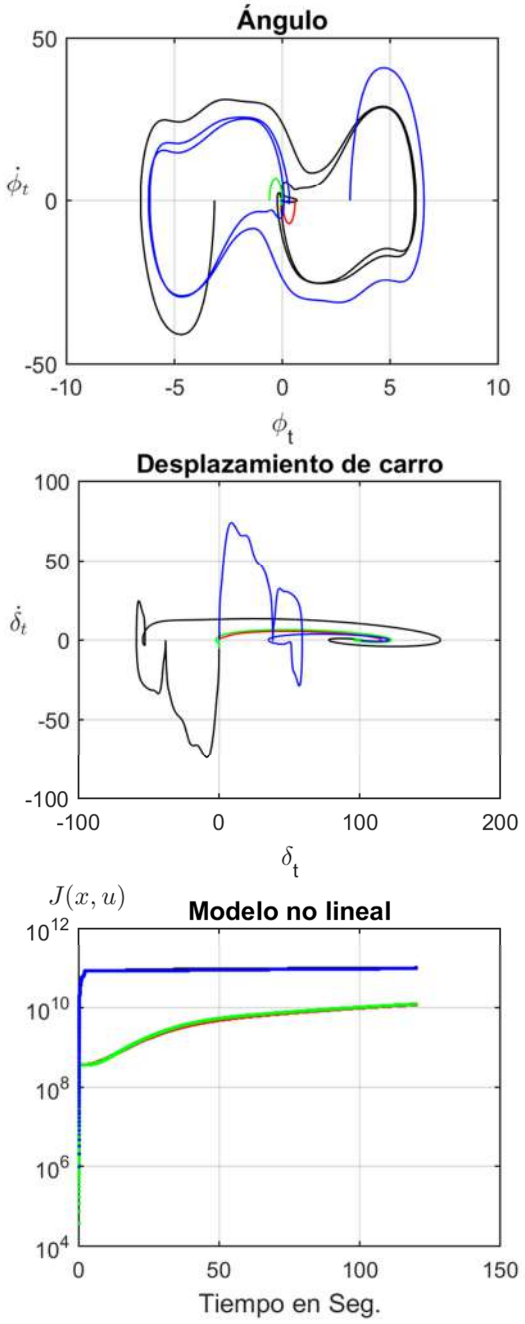


Fig. 6. Evolución de las variables de estado en el plano de fases para el ángulo y para el desplazamiento, del control para el péndulo invertido, partiendo de las condiciones iniciales ±π y ±0,6. Abajo: evolución de la acumulación de costo.

4. CONCLUSIONES

Se ha presentado el método de diseño de controladores con observación de estado para procesos diversos, entre los que está uno de fase no mínima, uno de motor de corriente continua y un modelo de un sistema no lineal. El método es simple, requiere de práctica para lograr el adecuado desempeño del sistema realimentado completo ya que a medida que se agregan más variables de estado también se agregan parámetros de diseño. El criterio de ajuste es a prueba y error partiendo de conocer las dinámicas del sistema de lazo abierto, pero el desempeño es aceptable ya que cumple con el objetivo de control y además puede realizarse en un sistema embebido empleando mínimos recursos para su implementación en línea.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de Catamarca, a la Universidad Nacional de Córdoba, a la Universidad Nacional de San Juan y a la Cardiff Metropolitan University por su apoyo en el desarrollo de proyectos involucrados en el Control y modelado de procesos de dinámica lenta, media y rápida.

6. REFERENCIAS

Bertsekas, D., 1995. Dynamic programming and optimal control. Athena Scientific (Eds.) Belmont, Massachusetts.

Dorf, R. Sistemas de Control Moderno 10ta edición. Pearson Prentice Hall 2005. PM7.4.

Herrera, M., J. Pucheta, C. Salas, H. D. Patiño and C. Rodríguez Rivero, "A novel LQR Controller Design Method based on the Pontryagin's Maximum Principle," 2021 XIX Workshop on Information Processing and Control (RPIC), 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/RPIC53795.2021.9648447.

Kirk, Donald, Optimal Control Theory: An introduction. Prentice Hall, 1970.

Ogata, K. Ingenieria-de-control-moderna-ogata-5ed. Prentice Hall 2010.

Pucheta, J., Rivero, C., Salas, C., Herrera, M. and Laboret, S. (2017). "Stability Analysis of a Neurocontroller with Kalman Estimator for the Inverted Pendulum Case". *Applied Mathematics*, **8**, 1602-1618. doi: 10.4236/am.2017.811117.

Diseño y simulación de una torre de recuperación de amoniaco en el proceso Solvay. Número óptimo de platos

Irahola Ferreira, Jaime A.[1]; Pérez, Fabiana H.[1]; Sanches, Anahí. R. A.[1]

(1) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.
irahola.j@gmail.com

RESUMEN

Se desea dimensionar la torre de destilación de un proceso Solvay, hallar el número óptimo de platos y estudiar la sensibilidad de la recuperación de amoniaco en fase gaseosa frente a cambios en el caudal de la corriente de lechada y la variación de presión de la corriente de vapor. Usando un simulador se modeló el prelimer, se halló la curva de equilibrio amoniaco-agua a la presión de trabajo deseada, se determinó el número teórico de platos, se diseñó una torre de platos perforados y se encontró, por sucesivas simulaciones, el número óptimo de platos. Usando la mejor columna, se estudió su sensibilidad frente al caudal y presión de dos corrientes de entrada. Como resultado se obtuvo, todas las dimensiones de las columnas, caudales, composiciones y condiciones de operación de los equipos y corrientes y, dos curvas de sensibilidad. Se encontró que el número óptimo de platos de la torre de recuperación es 10, y que la concentración de amoniaco en la corriente gaseosa de salida de la torre disminuye, a medida que aumenta el caudal de lechada, o se incrementa la presión de la corriente de vapor.

ABSTRACT

It is wish to size the distillation tower of a Solvay process, find the optimal number of trays and study the sensitivity of the ammonia recovery in the gas phase due to changes in the flow rate of the lime slurry stream and the pressure variation of the lime slurry stream. steam. Using a simulator, the prelimer was modeled, the ammonia-water equilibrium curve was found at the desired working pressure, the theoretical number of plates was determined, a tower of perforated plates was designed and the optimal number of plates was found by successive simulations. Using the best column, its sensitivity to the flow rate and pressure of two input streams was studied. As a result, all the dimensions of the columns, flow rates, compositions and operating conditions of the equipment and streams and two sensitivity curves were obtained. It was found that the optimal number of plates of the recovery tower is 10, and that the concentration of ammonia in the gaseous stream leaving the tower decreases, as the lime slurry flow rate increases, or increases the pressure of the steam stream.

Palabras claves: Diseño - Simulación - Torre de recuperación - Óptimo

Keywords: Design - Simulation - Recovery Tower - Optimal

1 INTRODUCCION

Como es sabido, el carbonato de sodio es un componente clave en numerosas industrias (Dirección Nacional de Promoción y Economía Minera, 2022), como ser: la industria del vidrio, del papel, del petróleo, metalurgia, química y del litio (López de Azarevich, 2020) entre otras. El proceso de soda-amoníaco es la tecnología dominante utilizada en todo el mundo, por lo que generalmente, se usa ésta para la producción de soda Ash. En el proceso se distinguen, básicamente, tres etapas: la etapa de absorción, la de carbonatación y la de recuperación de amoniaco. La reacción global es:

$$CaCO_3 + 2NaCl \rightarrow Na_2CO_3 + CaCl_2 \qquad (1)$$

Las sustancias reactivas que se utilizan son: carbonato de calcio (principal generador de CO_2), cloruro de sodio y amoniaco (componente intermedio). Según Cervera et al., (2006) en la

torre de carbonatación ocurren básicamente las siguientes reacciones:

$$NH_3 + H_2O + CO_2 \rightarrow (NH_4)HCO_3 \quad (2)$$

$$(NH_4)HCO_3 + NaCl \rightarrow NH_4Cl + NaHCO_3 \quad (3)$$

El bicarbonato que se obtiene es lavado, filtrado y enviado a la etapa de calcinación donde el bicarbonato se descompone en carbonato de sodio. El amoníaco a recuperar proviene del licor filtrado efluente de las torres de carbonatación. Una parte del mismo se encuentra de forma libre: NH_3(ac), NH_4CO_3, $(NH_4)_2CO_3$, $(NH_4)_2S0_4$ y la restante se encuentra en forma fija como NH_4Cl. (Vázquez Niebla, 1995). De esta manera quedaría constituido el ciclo del amoniaco, este recircula entre las etapas: absorción-carbonatación-recuperación-absorción.

Uno de los principales logros, sino el más importante, del proceso Solvay es la alta eficiencia del reciclado de amoníaco. Recircula aproximadamente de 500 a 550 kg NH_3/t de soda Ash, donde la pérdida de amoníaco es inferior al 0,5 % de este caudal. El propósito de este importante proceso de "destilación" (Fig. 1) es recuperar el amoníaco de las aguas madres que contienen principalmente cloruro de amonio recuperadas de los filtros/centrífugas de bicarbonato. En el proceso global, después de un precalentamiento con gas de salida del destilador, apoyado por la inyección de vapor en el fondo de la columna de separación de NH_3, las aguas madres liberan casi todo su contenido de CO_2. La adición de álcali, normalmente en forma de lechada de cal (Fig. 1), descompone el NH_4Cl en NH_3, que se extrae de la solución inyectando vapor a baja presión en la parte inferior de la columna de destilación. La solución de salida contiene cloruro de calcio junto con todos los materiales sólidos residuales. Después del enfriamiento y la condensación del vapor, la fase gaseosa que contiene CO_2. recuperado y el NH_3 se devuelve al área de absorción para su reutilización

En este trabajo, se considera la torre de destilación y un prelimer que la alimenta según el esquema de la Figura 1. Al prelimer -reactor tanque- (PREL) ingresan dos corrientes, la proveniente de la etapa de carbonatación (LIC) y otra conteniendo una lechada de cal (LEC). La torre de recuperación de amoniaco (TORRE) es alimentada por tope con la corriente efluente del prelimer (PLM) y por cola con la corriente de vapor (VAP). El producto gaseoso de interés sale por tope (GAS) y por cola los compuestos residuales (DES).

El diseño de la torre de recuperación se hace considerando únicamente las composiciones de las corrientes de entrada del prelimer (LIC y LEC) y la presión de la corriente de vapor según bibliografía (Vázquez Niebla, 1995). El citado autor no brinda información respecto a los caudales ni dimensiones de la torre de destilación, razón por la cual, se propone un caudal de entrada y se determina el número mínimo de etapas usando el método de McCabe-Thiele

La resolución del problema se hace usando el mismo simulador que sugiere Cormos (2007), puesto que en ese trabajo se reportó la alta representatividad del simulador cuando se aplicó a la simulación de una planta de soda Solvay.

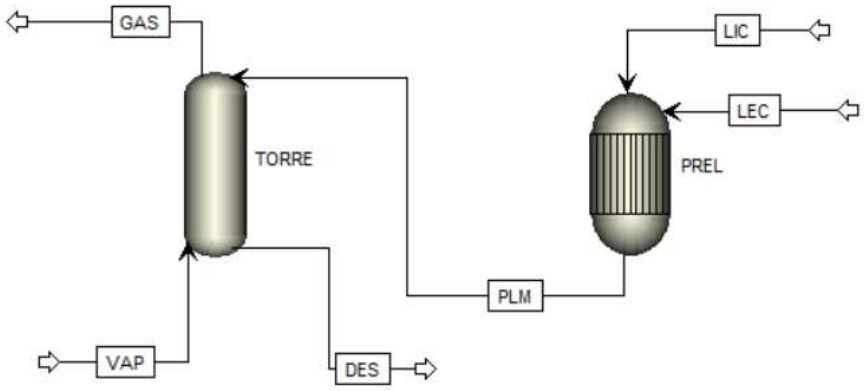


Figura 1. Esquema del proceso de recuperación estudiado

Tabla 1. Datos de las corrientes de entrada

Corriente	Lic	Lec
T [°C]	94	80
Concentración [kg/m^3]		
NH_4OH	20,26	0
$(NH_4)_2CO_3$	0,7	0
NH_4Cl	164,05	0
$(NH_4)_2SO_4$	1,98	0
NaCl	73,8	0,017
$Ca(OH)_2$	0	352,82
H_2O	789,21	849,31

Se modeló y resolvió el proceso (Fig. 1.) usando el simulador Aspen. Se encontró el número óptimo de platos de la torre de destilación: 10, y en el estudio de sensibilidad se halló que a medida que aumenta el caudal de lechada o se incrementa la presión de la corriente VAP, disminuye la recuperación de amoniaco en fase vapor.
Cabe señalar que a pesar que el proceso es ampliamente conocido, no se encontraron datos de las dimensiones de la torre en cuestión. Por ejemplo, Cervera et al., (2006) hacen un estudio detallado del proceso, pero en él no se encuentran los citados datos. Otro ejemplo es, el estudio de simulación de todo el proceso que hace Cormos (2007), pero tampoco reporta dimensiones de las columnas.

2 PROBLEMA Y PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

2.1 *Problema a resolver*

Se desea diseñar una torre de destilación para recuperar la máxima cantidad de amoniaco presente en la corriente de recirculación proveniente de la etapa de carbonatación. Los únicos datos que se disponen son la temperatura y composición de las corrientes que ingresan al prelimer (Tabla 1) y la presión de la corriente de vapor que ingresa a la torre (P=1,471 Bar). Según Vázquez Niebla (1995) se puede suponer una recuperación de amoniaco del 99%.

2.2 *Propuesta de solución*

A efectos de resolver el problema se propone calcular el número teórico de platos, el número real y el numero óptimo de platos en base al mejor rendimiento de amoniaco recuperado en la torre de recuperación. Hallar las dimensiones de las torres. Analizar la sensibilidad del diseño frente a cambios de la alimentación de la corriente LEC, puesto que la bibliografía (Cervera Gracia, et al., 2006, Vázquez Niebla, 1995) aconseja que ésta esté en exceso para forzar la conversión en el prelimer. Sin embargo, al mismo tiempo, esto impactará en el funcionamiento de la columna. También, se tendrá en cuenta la restricción de presión máxima a la que debería trabajar la torre: 1,8 bar (Vázquez Niebla, 1995)

3 METODOLOGÍA

A los efectos de resolver el problema de acuerdo a lo propuesto; se usa un simulador comercial. En todos los casos propuestos se mantienen constantes los datos del problema. Como no se dispone del caudal de entrada ni de salida de la torre de recuperación se propondrá el caudal de las corrientes de entrada al prelimer manteniendo un exceso de la corriente LEC en referencia a la proporción estequiométrica de la reacción en cuestión. Mediante el método gráfico de McCabe-Thiele se determinará el número de etapas teóricas necesarias para lograr la recuperación deseada, empleando el diagrama de equilibrio líquido-vapor para el sistema amoníaco-agua usando una ecuación empírica (Conde, 2012).
Para realizar el diseño de la columna es necesario disponer del número mínimo de platos. Para ello se debe tener la curva de equilibrio líquido- vapor del sistema amoníaco-agua a la presión de operación del equipo, sin embargo, para las condiciones operativas consideradas en este trabajo, no se encontraron datos en bibliografía. Por lo cual, se emplea la formulación simplificada para el equilibrio propuesta por Pátek y Klomfar (1995), la cual es de naturaleza completamente empírica y posee una precisión aceptable para presiones inferiores a 30 bar. Una vez determinado el número teórico de platos se supone un rendimiento del 80% y se calcula el número real de etapas de la torre en cuestión. Con toda la información mínima necesaria se procede a modelar y simular la torre de destilación. Se dimensiona la torre y luego se procede a buscar el número óptimo de platos. Finalmente, se analiza la

Tabla 2. Parámetros para la ecuación de Pátek - Klomfar

i	m	n	a
1	0	0	19,8022
2	0	1	-11,8093
3	0	6	27,748
4	0	7	-28,8634
5	1	0	-59,1617
6	2	1	578,0913
7	2	2	-6,21737
8	3	2	-3421,98
9	4	3	11940,31
10	5	4	-24541,4
11	6	5	29159,19
12	7	6	-18478,2
13	7	7	23,48194
14	8	7	4803,106

respuesta de la torre a un rango de variación de la corriente de entrada LEC.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 *Determinación de la curva de equilibrio*

Como se dijo, para realizar el diseño de la columna es necesario disponer de la curva de equilibrio líquido- vapor del sistema amoníaco-agua a la presión de operación del equipo, puesto que no se dispone de estos datos en bibliografía se procede a utilizar la ecuación simplificada propuesta por Pátek y Klomfar (1995) cuyos parámetros se presentan en la Tabla 2:

$$y(P,x) = 1 - exp\left[\ln(1-x)\sum_i \left(\frac{P}{P_0}\right)^{m_i} a_i x^{n_i/3}\right] \quad (4)$$

Cabe señalar, que para validar los resultados obtenidos con la ecuación empírica de Pátek-Klomfar se compararon, satisfactoriamente, los mismos con los obtenidos de Perry et al., (1997) para una presión de 12,5 atm.

4.2 *Determinación del número de platos teóricos y reales de la columna de destilación*

Se determina la composición del gas considerando que se va a operar al 80% de la relación Liquido/Vapor, máxima (Treybal, 1997) (Fig. 2).

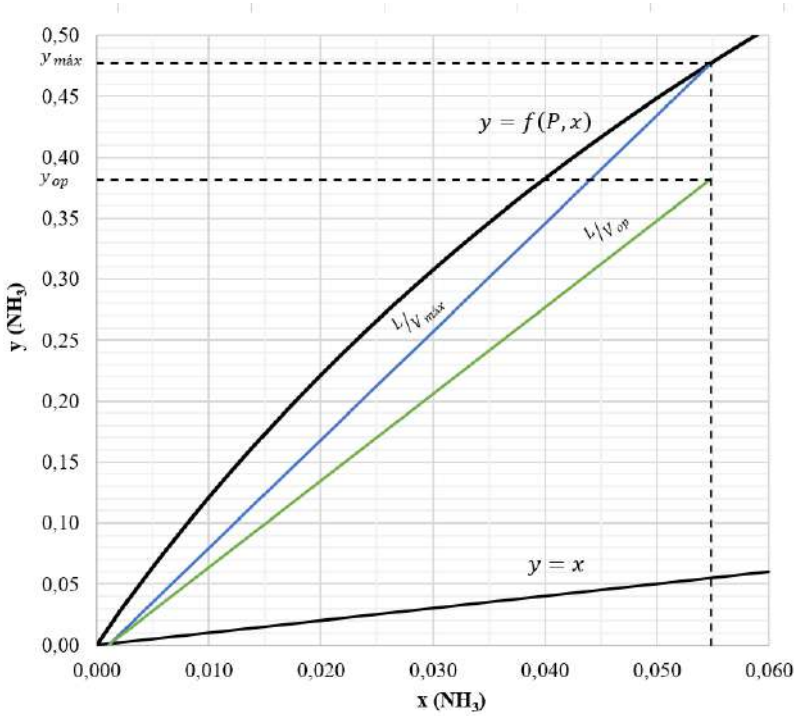


Figura 2. Determinación de la composición del gas a partir de la relación L/V máxima en la curva de equilibrio del sistema amoníaco- agua a 1,471 bar,

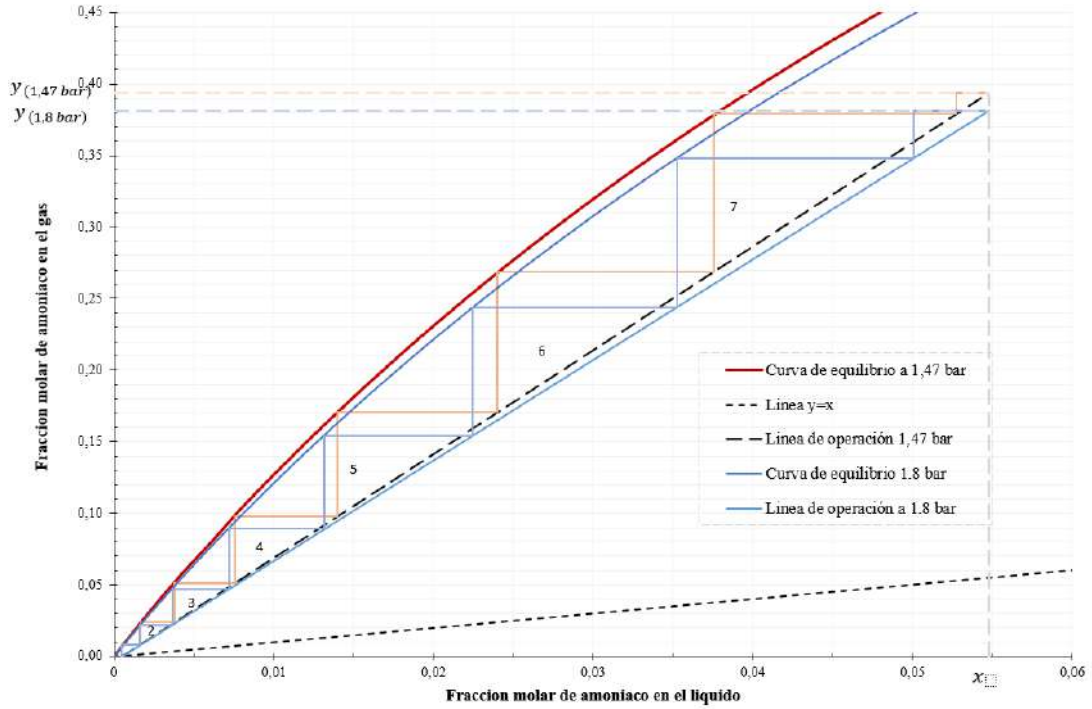


Figura 3. Gráfico de McCabe-Thiele en la curva de equilibrio del sistema amoníaco- agua a 1,8 y 1,471 bar.

Una vez determinada la línea de operación se procede a determinar el número de platos teóricos mediante el método gráfico de McCabe-Thiele (Treybal, 1997), éste utiliza el diagrama de equilibrio entre fases y prescinde del diagrama de entalpia-composición al suponer flujo superior molar constante que es válido si, para un intervalo dado de temperatura y presión del separador los calores latentes de vaporización de ambos componentes son iguales y los calores de mezcla, las pérdidas de calor en las etapas y los cambios de calor sensible del líquido y el vapor son despreciables. Se realizan los cálculos y se grafican: la curva de operación y la curva de equilibrio para las presiones de 1,8 bar y 1,471 bar, con el fin de poder determinar si hay cambios considerables debido a la presión (Fig. 3). Del grafico se determina que el número de platos teóricos es 7,13 y 7,35 correspondientes a las presiones de 1,471 y 1,8 bar, respectivamente. Luego, si se considera un rendimiento del 80%, puesto que según Turton (2018) las eficiencias de plato para destilación de hidrocarburos ligeros y soluciones acuosas están entre 60-90%", se encuentra que el número real de platos es aproximadamente 10.

4.3 *Diseño de la torre de destilación*

Considerando los datos del problema y asumiendo una torre de destilación de 10 platos perforados, se procede a su resolución usando el simulador AspenPlus.

El modelo químico del prelimer está dado por las siguientes reacciones:

$$(NH_4)_2S0_4 + Ca(OH)_2 \rightarrow 2NH_4OH + CaS0_4 \quad (5)$$

$$2NH_4Cl + Ca(OH)_2 \rightarrow 2NH_4OH + CaCl_2 \quad (6)$$

En la torre no se tiene únicamente amoniaco disuelto, sino están presentes los electrolitos provenientes del prelimer por lo que el uso de las curvas de equilibrio-amoniaco agua constituye una hipótesis asumida. Por otra parte, del prelimer se espera una corriente de salida rica en NH_4OH por lo que una reacción importante a darse en la torre de destilación es:

$$H_3 + H_2O \leftrightarrow NH_4OH \quad (7)$$

Tabla 3. Resultados de la torre de 10 platos y prelimer

Corriente	Unidad	DES	GAS	LEC	LIC	PLM	VAP
Fase			Fase Vapor		Fase Líquida		Fase Vapor
Temperatura	°C	112,082	103,598	80,000	94,000	78,617	110,801
Presión	bar	1,471	1,471	1,471	1,471	1,471	1,471
Fracción Molar Vapor		0,000	1,000	0,000	0,000	0,021	1,000
Fracción Molar Líquido		0,996	0,000	0,908	1,000	0,973	0,000
Flujo Másico	kg/h	38614,656	2385,368	11999,990	25500,033	37500,023	3500,000
H_2O	kg/h	31185,809	1571,484	8477,931	19419,815	29221,893	3500,000
$(NH_4)_2SO_4$	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$Ca(OH)_2$	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$CaCl_2$	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$CaCO_3$	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$CaSO_4$	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
NH_4OH	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
NH_4Cl	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
H_3N	kg/h	710,790	813,884	0,000	242,437	1496,476	0,000
CO_2	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,887	0,000	0,000
NaCl	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca++	kg/h	1463,235	0,000	2,562	0,000	1449,759	0,000
H_3O+	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Na+	kg/h	705,088	0,000	0,067	705,022	705,088	0,000
CaOH+	kg/h	128,661	0,000	1,722	0,000	52,371	0,000
NH_4+	kg/h	1,387	0,000	0,000	1359,470	31,252	0,000
NaCl(S)	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Na_2SO_4	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$NaHCO_3$	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Na_2CO_3	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
NaOH(S)	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$CaCO_3$(S)	kg/h	17,706	0,000	0,000	0,000	17,707	0,000
$CaCl_2$(S)	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$(NH_4)_2SO_4$(S)	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
NH_4HCO_3	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$CaSO_4$(S)	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$CaSO_4.2H_2O$	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	26,629	0,000
$CaOH_2$(S)	kg/h	636,613	0,000	3514,918	0,000	749,086	0,000
HCO_3-	kg/h	0,000	0,000	0,000	9,509	0,000	0,000
OH-	kg/h	2,427	0,000	2,688	0,003	1,680	0,000
Cl-	kg/h	3727,980	0,000	0,103	3727,877	3727,980	0,000
CO_3--	kg/h	0,001	0,000	0,000	0,055	0,000	0,000
SO_4--	kg/h	34,958	0,000	0,000	34,958	20,100	0,000
NH_4Cl(S)	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabla 4. Datos de la torre diseñada

Propiedad	Valor	Unidades
Tipo de bandeja	Perforada	
Espacio entre bandejas	0,6096	metros
Diámetro de la sección	0,84559	metros
Altura de la etapa	6,096	metros
Número de etapas	10	
Altura total	6,096	metros

Los datos de temperatura y presión utilizados son los presentados por Vásquez Niebla (1995).

Los resultados encontrados se presentan en la Tabla3. Si se analiza la coherencia de los mismos, se observa que se verifica el balance de masa. El balance molar en el prelimer indica que salen 4.01% de moles menos de los que ingresan.

Respecto al rendimiento del proceso estudiado se puede decir que, si se considera el caudal molar, en el prelimer se obtiene el 98,06 % de amoniaco disuelto del total de amoniaco ingresado por LIC. En tanto, en la columna de destilación, el NH_3 que se recupera por GAS es el 54,39% de lo que ingresa por PLM y constituye en términos de fracción másica: 0,340, o expresado en fracción molar es: 0,354, siendo el resto vapor de agua. Esto es acorde a los valores del diagrama de equilibrio teórico presentado.

En cuanto a la corriente DES, se encuentra que su fracción de vapor es cero, entonces el NH_3 solo está en fase líquida, es decir disuelto, en esta corriente. Por ésta sale el 4,44 % del NH_4+ y el 47,50 % del NH_3 que ingresa por PLM. En la misma corriente DES, si se considera sólidos presentes se observa principalmente, la fracción másica de $CaOH_2$(S): 0,973, y el resto de $CaCO_3$(S).

La importancia de la presencia de las demás sustancias en la Tabla 3, es que, a pesar de dar valores nulos, muestran, que durante el modelado se ha previsto la posibilidad de que reaccionen si las condiciones están dadas. Si bien esto brinda un mejor conocimiento de lo que ocurre en el proceso, dificulta grandemente la resolución y convergencia del simulador.

Finalmente, el diseño de la torre se resume en la Tabla 4.

4.4 *Búsqueda del número óptimo de platos de la torre de destilación*

En base a los resultados encontrados se sube el número de platos de la torre a 11 y se resuelve (Tabla 5). Se observa que el caudal másico de NH_3 en la corriente GAS es tan solo el 60,8% del obtenido con 10 platos. En vista de esto, se disminuye a 9 el número de platos y se resuelve (Tabla 6). En este caso, el caudal másico de NH_3 es aún más bajo, el 37,3% del caudal de referencia de la torre de 10 platos. Por lo tanto, se acepta que 10 es el número óptimo de platos de la columna de destilación, pero también, cabe señalar, que este es un óptimo local.

4.5 *Estudio de sensibilidad de la torre de destilación*

Algunos autores (Cervera Gracia, et al., 2006, Vázquez Niebla, 1995) aconsejan emplear un notable exceso de lechada de cal para lograr una total conversión de NH_4+, sin embargo, esto obviamente, influirá en todo el proceso. La pregunta es cuánto y si será algo positivo o negativo para todo el proceso. Para dilucidar esto, se tomó el proceso con la torre de 10 platos y se estudió la sensibilidad del proceso frente a cambios en el caudal de LEC (Fig. 4). Concretamente, se graficó la fracción másica de NH_3 en la corriente GAS frente a cambios en el caudal de la lechada LEC. Se encontró que mientras más bajo es el caudal de entrada, mayor es la concentración de NH_3 en GAS. No obstante, no se pudo bajar a caudales inferiores a 9900 Kg/h, situación en la que el simulador no resuelve el modelo.

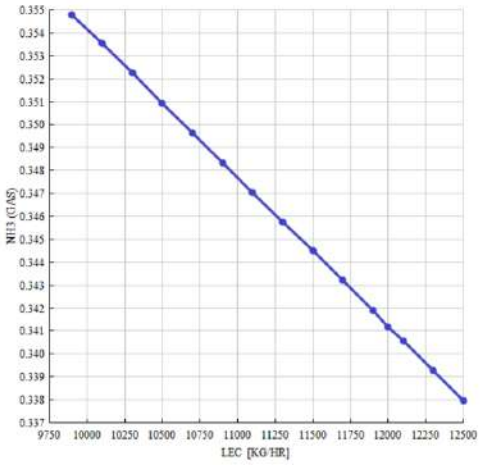


Figura 4. Variación de la fracción molar de NH_3 frente a cambios en el caudal de LEC

Tabla 5. Resultados de la torre de 11 platos y prelimer

Corriente	Unidad	DES	GAS	LEC	LIC	PLM	VAP
Fase			Fase Vapor		Fase Líquida		Fase Vapor
Temperatura	°C	110,357	103,018	80,000	94,000	78,617	110,801
Presión	bar	1,471	1,471	1,471	1,471	1,471	1,471
Fracción Molar Vapor		0,000	1,000	0,000	0,000	0,021	1,000
Fracción Molar Líquido		0,995	0,000	0,908	1,000	0,973	0,000
Flujo Másico	kg/h	38609,288	1390,735	11999,990	25500,033	37500,023	2500,000
H_2O	kg/h	30859,770	895,532	8477,931	19419,815	29221,893	2500,000
$(NH_4)_2SO_4$	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$Ca(OH)_2$	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$CaCl_2$	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$CaCO_3$	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$CaSO_4$	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
NH_4OH	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
NH_4Cl	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
H_3N	kg/h	1027,588	495,203	0,000	242,437	1496,476	0,000
CO_2	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,887	0,000	0,000
NaCl	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca++	kg/h	1470,441	0,000	2,562	0,000	1449,759	0,000
H_3O+	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Na+	kg/h	705,088	0,000	0,067	705,022	705,088	0,000
CaOH+	kg/h	101,180	0,000	1,722	0,000	52,371	0,000
NH_4+	kg/h	3,381	0,000	0,000	1359,470	31,252	0,000
NaCl(S)	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Na_2SO_4	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$NaHCO_3$	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Na_2CO_3	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
NaOH(S)	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$CaCO_3$(S)	kg/h	17,707	0,000	0,000	0,000	17,707	0,000
$CaCl_2$(S)	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$(NH_4)_2SO_4$(S)	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
NH_4HCO_3	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$CaSO_4$(S)	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$CaSO_4.2H_2O$	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	26,629	0,000
$CaOH_2$(S)	kg/h	658,961	0,000	3514,918	0,000	749,086	0,000
HCO_3-	kg/h	0,000	0,000	0,000	9,509	0,000	0,000
OH-	kg/h	2,235	0,000	2,688	0,003	1,680	0,000
Cl-	kg/h	3727,980	0,000	0,103	3727,877	3727,980	0,000
CO_3--	kg/h	0,001	0,000	0,000	0,055	0,000	0,000
SO_4--	kg/h	34,958	0,000	0,000	34,958	20,100	0,000
NH_4Cl(S)	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabla 6. Resultados de la torre de 9 platos y prelimer

Corriente	Unidad	DES	GAS	LEC	LIC	PLM	VAP
Fase			Fase Vapor		Fase Líquida		Fase Vapor
Temperatura	°C	97,108	93,233	80,000	94,000	78,617	110,801
Presión	bar	1,471	1,471	1,471	1,471	1,471	1,471
Fracción Molar Vapor		0,000	1,000	0,000	0,000	0,021	1,000
Fracción Molar Líquido		0,995	0,000	0,908	1,000	0,973	0,000
Flujo Másico	kg/h	37886,713	913,310	11999,990	25500,033	37500,023	1300,000
H_2O	kg/h	29945,804	610,017	8477,931	19419,815	29221,893	1300,000
$(NH_4)_2SO_4$	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$Ca(OH)_2$	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$CaCl_2$	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$CaCO_3$	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$CaSO_4$	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
NH_4OH	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
NH_4Cl	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
H_3N	kg/h	1219,990	303,293	0,000	242,437	1496,476	0,000
CO_2	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,887	0,000	0,000
NaCl	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca++	kg/h	1468,191	0,000	2,562	0,000	1449,759	0,000
H_3O+	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Na+	kg/h	705,088	0,000	0,067	705,022	705,088	0,000
CaOH+	kg/h	109,822	0,000	1,722	0,000	52,371	0,000
NH_4+	kg/h	2,861	0,000	0,000	1359,470	31,252	0,000
NaCl(S)	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Na_2SO_4	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$NaHCO_3$	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Na_2CO_3	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
NaOH(S)	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$CaCO_3$(S)	kg/h	17,706	0,000	0,000	0,000	17,707	0,000
$CaCl_2$(S)	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$(NH_4)_2SO_4$(S)	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
NH_4HCO_3	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$CaSO_4$(S)	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$CaSO_4.2H_2O$	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	26,629	0,000
$CaOH_2$(S)	kg/h	651,903	0,000	3514,918	0,000	749,086	0,000
HCO_3-	kg/h	0,000	0,000	0,000	9,509	0,000	0,000
OH-	kg/h	2,410	0,000	2,688	0,003	1,680	0,000
Cl-	kg/h	3727,980	0,000	0,103	3727,877	3727,980	0,000
CO_3--	kg/h	0,001	0,000	0,000	0,055	0,000	0,000
SO_4--	kg/h	34,958	0,000	0,000	34,958	20,100	0,000
NH_4Cl(S)	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

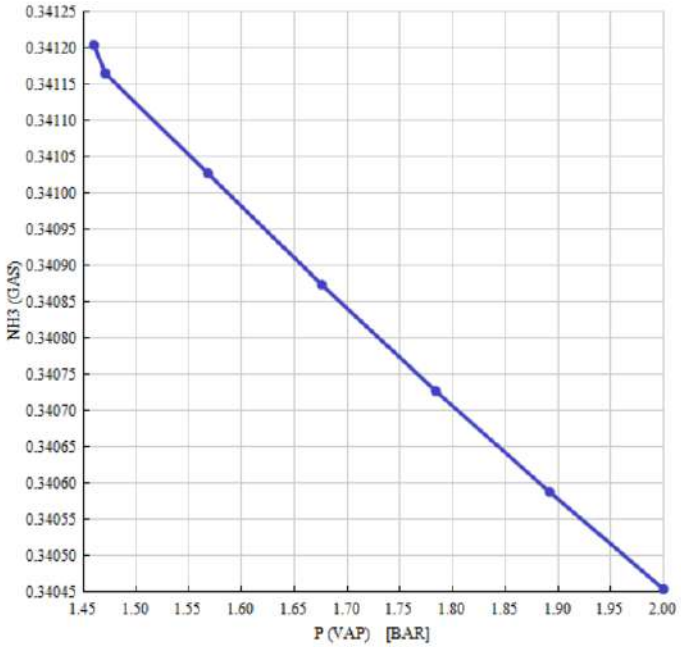


Figura 5. Variación de la fracción molar de NH_3 frente a cambios en la presión del vapor de la corriente VAP.

Por último, se estudió la sensibilidad de la torre frente a cambios de la presión de la corriente de VAP. Nuevamente, la variable de interés es la fracción másica de NH_3 en la corriente de salida GAS (Fig. 5). Se observa que, la producción de NH_3 se incrementa a medida que disminuye la presión del vapor que ingresa por la corriente VAP

5 CONCLUSIONES

Conociendo los caudales, composición y condiciones de presión y temperatura de las corrientes de entrada al prelimer se ha diseñado la torre de destilación para la recuperación de amoniaco (gas). Se ha corroborado que la curva de equilibrio amoniaco-agua, inicialmente usada, es una buena aproximación, según los datos obtenidos por simulación. El rendimiento, en términos de amoniaco (gas) recuperado respecto al amoniaco total ingresado, de la torre de 10 platos es mayor que en las otras torres de 9 y 11 platos, por lo tanto, el número óptimo (local) de platos es 10, para el problema aquí planteado. Por otra parte, el estudio de sensibilidad ha permitido determinar que a medida que (i) aumenta el caudal de lechada o (ii) se incrementa la presión de la corriente de vapor que alimenta la torre de destilación, disminuye la recuperación de amoniaco en fase vapor.

6 REFERENCIAS

Cervera Gracia, L, L. Izquierdo, J. P. Labrozzi, M. Moreno, E. O. Ordóñez, R. Vidal. (2006). *Planta de producción de carbonato sódico*. Tesina de Ingeniería Química. Escuela Técnica Superior de Ingeniería.

Conde, M. R. (2012). *Thermophysical properties of {NH_3 + H_2O} mixtures for the Industrial design of Absorption-Refrigeration equipment*. M. Conde Engineering. Recuperado el 01 de abril de 2023 de http://www.mrc-eng.com/aquaammonia.htm

Cormos, A. M, C. C. Cormos, P. Agachi. (2007). Making soda ash manufacture more sustainable. A modeling study using ASPEN Plus. *17th European Symposium on Computer Aided Process Engineering – ESCAPE17*.

Dirección Nacional de Promoción y Economía Minera. Subsecretaría de Desarrollo Carbonato de Sodio (Soda Ash): características, usos y demanda. Minero. (Sep. 2022). Recuperado el 5 de mayo de 2023 de https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/soda_ash_serie_de_estudios_para_el_desarrollo_minero_carbonato_de_sodio_soda_ash_caracteristicas_usos_y_demanda.pdf

López de Azarevich, Vanina L., Isidoro B. Schalamuk y Miguel Azarevich. (2020). *Proyecto: instalación de una planta de carbonato de sodio en el noroeste argentino, para la producción de carbonato de litio. El litio en la Argentina: visiones y aportes multidisciplinarios desde la UNLP*. Universidad Nacional de La Plata. p 221-229.

Pátek, J., J. Klomfar 1995. Simple functions for fast calculations of selected thermodynamic properties of the ammonia-water system. *Int. J. Refrigeration.*, 18(4), 228-234

Perry, R. H., Green, D. W., & Maloney, J. O. (1997). *Chemical Engineers' Handbook*. Mc Graw Hill.

Treybal, R. E. (1997). *Operaciones de Transferencia de Masa*. Mc Graw Hill.

Turton, R., Bailie, R. C., Whiting, W. B., Shaeiwitz, J. A., & Bhattacharyya, D. (2018). *Analysis, synthesis and design of Chemicals Processes.* Prentice Hall.

Vázquez Niebla, J. L. (1995). *Eficientización del control de los procesos de destilación, absorción, carbonatación y evaporación de Industria del Alcali S.A*. Tecnológico de Monterrey. Recuperado el 01 de abril de 2023 de http://hdl.handle.net/11285/569074.

Estudio Comparativo del costo y rendimiento de columnas de carbonatación de 2 y 3 secciones

Irahola Ferreira, Jaime A.[1]

(1) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.
irahola.j@gmail.com

RESUMEN

Usando un simulador comercial se diseñaron cuatro columnas de carbonatación de 2 y 3 secciones y se compararon los resultados de las mismas desde el punto de vista de costo total y rendimiento de bicarbonato de sodio producido. Las columnas son de 13 platos perforados con el plato 11 o 10 refrigerado. Se tomaron como parámetros de diseño: el caudal, composición, temperatura y presión de las corrientes de entrada. También, se determinó la carga calórica a extraer -tal que satisfaga la temperatura de la corriente líquida de producto- y se mantuvo constante en todas las columnas. Para aceptar convergencia se verificó en todos los casos el equilibrio hidráulico de todos los platos de la columna. Se hallaron y analizaron los perfiles de composición, temperatura y reacción de las columnas. Tanto, desde el punto de vista de costo total como del [costo total USD)]/[kg/h de bicarbonato de sodio producido] se ha encontrado que la columna de 3 secciones es, aproximadamente, 0,7% menor que la columna de 2 secciones. Por otra parte, el rendimiento (materia prima/ producto) de las columnas, es el mismo.

ABSTRACT

Using a commercial simulator, four carbonation columns of 2 and 3 sections were designed and their results were compared from the point of view of capital total cost and yield of sodium bicarbonate produced. The columns consist of 13 sieve trays with tray 11 or 10 chilled. The flow, composition, temperature and pressure of the inlet currents were taken as design parameters. Also, the heat load to be extracted was determined - such that it satisfies the temperature of the liquid product stream - and it was kept constant in all the columns. To accept convergence, the hydraulic balance of the column trays was verified in all cases. The composition, temperature and reaction profiles of the columns were found and analyzed. Both from the perspective of total cost and [total cost USD]/[kg/h of sodium bicarbonate produced], it has been found that the 3-section column is approximately 0,7% lower than the 2-section column. On the other hand, the performance (raw material/product) of the columns is the same.

Palabras claves: Simulación – Comparación - Rendimiento - Columna de Carbonatación

Keywords: Simulation – Comparison - Performance - Carbonation Column

1 INTRODUCCION

La columna de carbonatación constituye la segunda etapa en la fabricación de carbonato de sodio en el proceso de Soda Solvay. El proceso de soda-amoníaco es la tecnología dominante utilizada en todo el mundo, por lo que este proceso, generalmente, se usa para la producción de soda Solvay. En este proceso se distinguen, básicamente, tres etapas: la etapa de absorción, la de carbonatación y la de recuperación de amoniaco. La reacción global es:

$$CaCO_3 + 2NaCl \rightarrow Na_2CO_3 + CaCl_2 \quad (1)$$

Según Wagialla (1992) en la torre de carbonatación ocurren básicamente las siguientes reacciones:

$$NH_3 + H_2O + CO_2 \rightarrow (NH_4)HCO_3 \quad (2)$$

$$(NH_4)HCO_3 + NaCl \rightarrow NH_4Cl + NaHCO_3 \quad (3)$$

El bicarbonato que se obtiene es lavado y filtrado en un filtro rotatorio y luego enviado a secado o etapa de calcinación (en general, se usa un

calcinador calefaccionado con vapor) donde el bicarbonato se descompone en carbonato de sodio. En una columna de carbonatación (Fig. 1) se puede

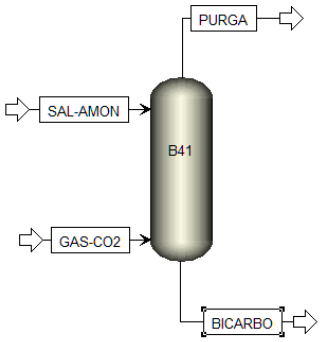


Figura 1. Torre de carbonatación.

observar que por tope ingresa la corriente líquida de Sal amoniacal (Sal-Amon), y por cola la corriente gaseosa conteniendo CO_2 y otros gases (Gas-CO). El producto deseado: $NaHCO_3$ se obtiene en la corriente líquida que sale por cola (Bicarbo) y por tope salen los gases de residuales de la reacción (Purga).

Recuérdese que el proceso de carbonatación para la producción de Soda Solvay, se lleva a cabo en una columna de destilación reactiva exotérmica. Ello implica la necesidad de refrigerar la torre, razón por la cual, en general, se elige una columna de platos puesto que esto facilita esa operación. En ese sentido, se ha optado por elegir la etapa 11 para refrigerar -se debe recordar, también, la restricción de temperatura que debe satisfacer el producto (25 a 30°C)- teniendo en cuenta el trabajo de Irahola (2021), que trata la selección de la mejor etapa de refrigeración de acuerdo al rendimiento de bicarbonato de sodio producido. Cabe señalar que, posteriormente, el estudio se extendió también al plato 10 para ampliar el estudio comparativo y probar si otro plato candidato (Irahola 2021) podría ser una mejor opción. La refrigeración se hizo extrayendo el líquido de un plato se lo enfrió usando un intercambiador de calor y se lo reingresó al mismo plato.

En el trabajo que nos ocupa en base a datos (Tabla 1) de bibliografía (Cervera Gracia, et al. 2006) se diseñaron torres de 2 y 3 secciones (Fig. 2) y se compararon los resultados de las mismas desde el punto de vista de costo y rendimiento de bicarbonato de sodio. Habitualmente, se diseñan columnas de destilación de una sección para muchos procesos y éstas satisfacen el objetivo de diseño, pero en el caso de la torre de carbonatación, se ha encontrado que el hecho de refrigerar un plato, de la forma aquí expuesta, produce saltos de composición, temperatura y flujo, pronunciados, respecto al resto de los platos. En todos los casos estudiados, se ha encontrado que el plato refrigerado debe ser de mayor diámetro que el resto de los platos y tener 2 pases, debido al mayor flujo de líquido que en él ocurre. De la comparación de columnas de carbonatación se ha encontrado que la mejor, desde el punto de vista del costo, es la de 3 secciones. Se debe señalar que las columnas no solo están ancladas -de alguna manera- por las condiciones de las corrientes de entrada sino también por la restricción de temperatura que debe satisfacer el producto. Ello delimita el campo de búsqueda de la solución.

Se ha usado el mismo simulador que sugiere Cormos (2007), puesto que en ese trabajo se reportó la alta representatividad del simulador cuando se aplica a la simulación de una planta de soda Solvay. Sin embargo, a pesar de la búsqueda, no se ha encontrado bibliografía especifica referente al tema de este trabajo.

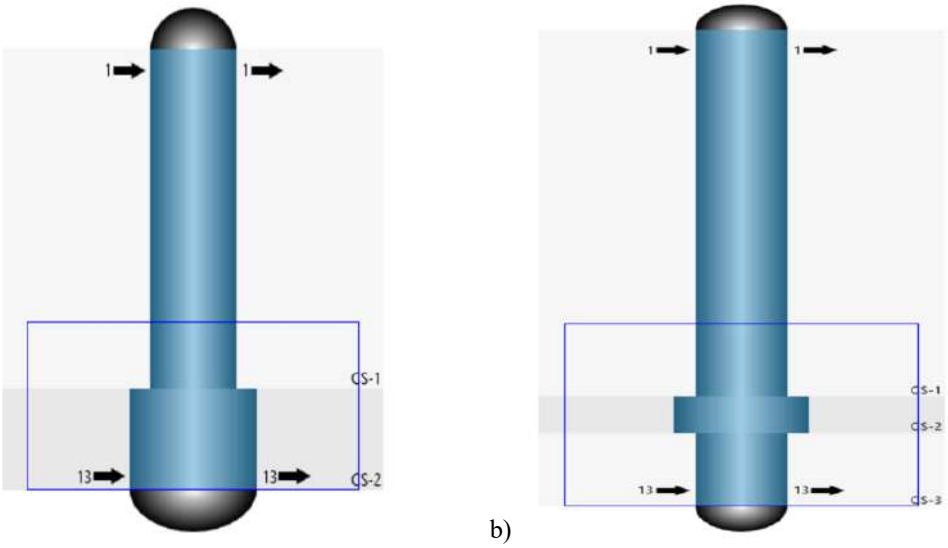
2 PROBLEMA Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN

2.1 *Problema a resolver*

Se desea hallar la mejor solución, desde el punto de vista del costo y el rendimiento de la producción de bicarbonato de sodio usando una columna de destilación de 13 platos perforados refrigerando la etapa 11. Los datos del problema son los caudales, composición y temperatura de las corrientes de entrada en base a datos de Cervera Gracia, et al. (2006). (Tabla 1.)

Tabla 1. Datos de las corrientes de entrada

Corriente	Gas-CO2	Sal-Amon	
Flujo Másico (Kg/h)	14000	38000	
Temp (°C)	60	25	
Presión (Bar)	2,2	2	
Fracción Másica		Fracción Másica	
CO_2	0,460274	NACL	0,228948
CO	0,00468233	NH_4OH	0,186464
N_2	0,506162	H_2O	0,584587
O_2	0,0288817		



a) b)

Figura 2. a) Columna de carbonatación 2 secciones. b) Columna de carbonatación de 3 secciones.

2.2 *Propuesta de columnas de carbonatación*

Cuando se analiza el comportamiento de una columna de carbonatación con un plato refrigerado, se observa que éste trabaja altamente exigido mientras que el resto de los platos de la columna satisfacen holgadamente las restricciones hidráulicas de funcionamiento de la columna. Esa es la razón por la que se busca diseñar una columna que alivie las condiciones de trabajo del plato refrigerado. Entonces se proponen los siguientes diseños: i) una columna de dos secciones, de diámetro diferente (2Sec) (Fig.2.a) y ii) una columna de 3 secciones (3Sec): dos de ellas de diámetro idéntico y la que corresponde al plato refrigerado de diámetro mayor (Fig. 2.b).

3 METODOLOGÍA

A los efectos de llevar a cabo las propuestas; se usa un simulador comercial. En todos los casos propuestos se mantienen constantes los datos del problema, es decir caudales, composición, presión y temperatura de las corrientes de entrada. Además, también se mantiene constante la carga calórica que se extrae en la etapa refrigerada. De esta manera, el costo y rendimiento de las columnas solo dependerá del tipo de columna según las secciones propuestas.
El estudio se ha divido en 4 casos:
Caso1: primeramente, se diseña la columna de 2 secciones (Fig. 2.a). La primera sección -CS1- abarca desde la etapa 1 a la 10 y la segunda -CS2- desde la etapa 11 a la 13 (2Sec11@13).
Caso2: la columna de 3 secciones (Fig. 2.b) comprende una primera sección: del plato 1 al 10, luego, la segunda sección comprende solo el plato 11 y finalmente, la tercera sección -CS3- abarca los platos 12 y 13 (3Sec11). A efectos prácticos, se restringe que las secciones 1 y 3 deben ser de igual diámetro. Posteriormente, con el fin de corroborar lo encontrado o rectificarlo se añade al estudio principal, los casos 3 “2Sec10@13” y 4 “3Sec10”, donde la única diferencia es que el plato que se refrigera es el 10.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan algunos resultados del diseño global de una de las columnas (Tabla 2) realizado con el simulador. En las Tablas 3 y 4, se observa, básicamente, que se verifica el balance de masa, que se consumen moles de reactivo para la reacción y que se extrae calor de las columnas de carbonatación, como una forma de corroborar la lógica de los resultados. La corriente total que ingresa y el calor extraído es el mismo para ambas columnas: 2Sec11@13 y 3Sec11.

El resultado del diseño de la columna 2Sec11@13, se presenta en la Tabla 5. A efectos prácticos, en el diseño se ha buscado que todos los platos de la columna tengan el mismo espaciamiento entre sí, de manera que solo haya diferencia en el diámetro de la columna. Se justifica la decisión, porque,

Tabla 2. Información total de la Columna de Carbonatación 3Sec11 diseñada.

Corriente	Unidades	GAS-CO2	SAL-AMON	BICARBO	PURGA
Subcorriente MIXTA					
Fase		Fase vapor	Fase líquida		Fase vapor
Temperatura	°C	60,0	25,2	28,1	47,2
Presión	bar	2,139	2	2,139	2
Fracción molar de vapor		1	0	0	1
Fracción molar líquida		0	1	0,980491	0
Fracción molar sólida		0	0	0,019509	0
Flujo másico	kg/h	14000	38000	41042,94	10957,06
Fracción másica					
H_2O		0	0,798242	0,697921	0,026385
CO_2		0,460274	0	0,003319	0,262909
CO		0,004682	0	0,000002	0,005977
N_2		0,506162	0	0,000129	0,646247
O_2		0,028882	0	0,000014	0,036850
Na+		0	0,056835	0,031476	0,000000
Cl-		0	0,087649	0,081150	0,000000
NH_4+		0	0,000091	0,034588	0,000000
OH-		0	0,000086	0,000000	0,000000
H_3O+		0	0,000000	0,000000	0,000000
NH_3		0	0,057098	0,014512	0,021633
$NaHCO_3$		0	0	0,077268	0
HCO_3-		0	0	0,058402	0,000000
CO_3--		0	0	0,001218	0,000000
NH_4Cl, NH_4OH, NH_4HCO_3, NaCl		0	0	0	0
Fase sólida					
Flujo másico	kg/h			3171,300	
H_2O	kg/h			0	
CO_2	kg/h			0	
CO	kg/h			0	
N_2	kg/h			0	
O_2	kg/h			0	
Na+	kg/h			0	
Cl-	kg/h			0	
NH_4+	kg/h			0	
OH-	kg/h			0	
H_3O+	kg/h			0	
NH_3	kg/h			0	
$NaHCO_3$	kg/h			3171,300	
HCO_3-	kg/h			0	
CO_3--	kg/h			0	
NH_4Cl	kg/h			0	
NH_4HCO_3	kg/h			0	
NaCl	kg/h			0	
NH_4OH	kg/h			0	

Tabla 3. Balance global de masa y energía en la columna 2Sec11@13

Total	Unidades	Entrada	Salida	Generado	Diferencia relativa
Moles	kmol/h	2.413,777	2.298,161	-77,394	0,016
Masa	kg/h	52.000,00	52.000,00		0,00
Entalpia	MMkcal/h	-140,380	-141,480		0,008

durante las corridas del simulador, los valores de distancia entre platos, calculados para las secciones CS1y CS2 eran muy próximos al valor 0,61m, y su adopción no influyó en el costo de la columna. La sección CS2 difiere de CS1 en el

Tabla 4. Balance global de masa y energía en la columna 3Sec11.

Total	Unidades	Entrada	Salida	Generado	Diferencia relativa
Moles	kmol/h	2.413,777	2.298,159	-77,396	0,016
Masa	kg/h	52.000,000	52.000,000		0,000
Entalpia	MMkcal/h	-140,380	-141,480		0,008

Tabla 5. Dimensiones de la Columna 2Sec11@13

	Columna	CS1	CS2
Diámetro [m]		1,08	1,585
Altura [m]	7,93	6,1	1,83
Espaciamiento de platos [m]		0,61	0,61
Holgura de bajante [m]		0,0381	0,0581
Núm. de pases		1	2

diámetro de la columna, la holgura de bajante y el número de pases.

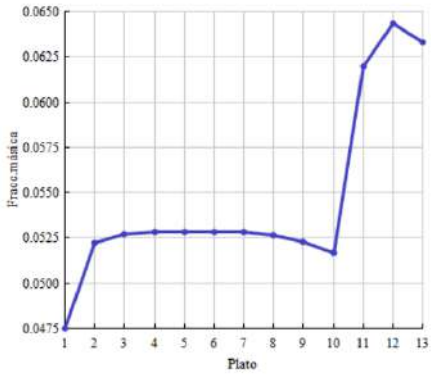
Los resultados para la columna 3Sec11 -Caso 2- se presentan en la Tabla 6. Para su resolución se procedió de manera similar al Caso1. Las secciones CS1 y CS3 tienen iguales: diámetros, espaciamiento de platos, holgura de bajante y número de pases, pero difieren en el número de platos. La sección CS2 difiere de las anteriores en lo siguiente: consta de un solo plato, su diametro es mayor en un 47% y el número de pases es 2 en lugar de 1. Tanto en el Caso 1 como en el 2, la holgura de bajante en CS2 es mayor que en las secciones restantes. Eso contribuye a un mejor desempeño hidraúlico de los platos, mejorando particularmente, el problema de inundación del plato. Este inconveniente se presenta especialmente en el plato refrigerado y esto ocurre porque el flujo en el plato presenta mayor caudal que en el resto.

4.1 *Perfiles de composición y temperatura en las columnas*

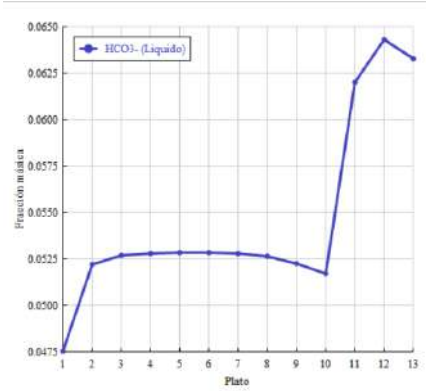
En general, es de esperar que columnas diferentes presenten perfiles de composición diferentes. Sin embargo, cuando se observan los resultados referentes a los perfiles de composición de HCO_3^- en fase líquida, de las columnas 2Sec11@13 y 3Sec11 (Fig. 3), se ve todo lo contrario. Más aun, las curvas son, prácticamente, idénticas. Es relevante el gran salto de composición que ocurre en el plato 11. Se podría deducir, que en esta etapa se produce la mayor cantidad de bicarbonato de sodio en solución. Esto podría ser corroborado si se observa la Fig. 4, donde se advierte que disminuyen los iones Na^+ y se incrementan los iones de HCO_3^-. También, si se observan las curvas de reacción de HCO_3^- y $NaHCO_3$ (Fig. 5) se puede

Tabla 6. Dimensiones de la Columna 3Sec11

	Columna	CS1	CS2	CS3
Diámetro [m]		1,08	1,585	1,08
Altura [m]	7,93	6,1	0,6096	1,22
Espaciamiento de platos [m]		0,61	0,6096	0,61
Holgura de bajante [m]		0,0381	0,0581	0,0381
Núm. de pases		1	2	1



a)



b)

Figura 3. Perfiles de composición de HCO_3^- en fase líquida. a) Caso 1. b) Caso 2.

afirmar que los mayores gradientes de formación de éstos se dan en la etapa 1 y en la 11.

Los perfiles de temperatura de ambas columnas (2Sec11@13 y 3Sec11) también presentan un comportamiento similar al de las composiciones (Fig. 6). De nuevo, las curvas son casi idénticas. Los mayores saltos de temperatura se dan en los platos 1 y 11, y esto es coherente con lo dicho respecto al avance de las reacciones graficadas en la Fig. 5. Según los gráficos de temperatura (Fig. 6) para los tipos de columnas de 2 y 3 secciones se puede apreciar que la etapa refrigerada (plato 11) es determinante para satisfacer la temperatura del producto, menor a 30 °C. Por otra parte, la etapa refrigerada tiene un comportamiento notablemente diferente respecto al resto de las etapas (Figs. 3 y 6). Por consiguiente, esto podría justificar que la columna 3Sec11 ha sido suficiente para conseguir el mismo producto y a un costo menor (Tabla 7). Solo una etapa es de mayor diámetro y esto reduce el costo de capital. La columna de menor costo es 3Sec11. Respecto a ésta, la columna 2Sec11@13 es 0,73% más costosa. Resueltos los casos 3 y 4, se observa que sus costos son también mayores. 3Sec10 es 0,023% más cara y 2Sec10@13 también lo es en 0,72%. Nuevamente, se puede observar que las columnas de 3 secciones son más baratas que las de 2 y, por tanto, se deduce que es necesario una sección CS2 de tan solo una etapa para satisfacer igual producción de bicarbonato de sodio respecto a las columnas de 2 secciones del tipo aquí estudiado. Si se tiene en cuenta la suma de HCO_3^- y $NaHCO_3$ producido en cada una de las columnas estudiadas (Tabla 8) Se puede calcular que el costo total por kg/h producido es, en [USD/kg/h]: 994,21 para 3Sec11; 994,36

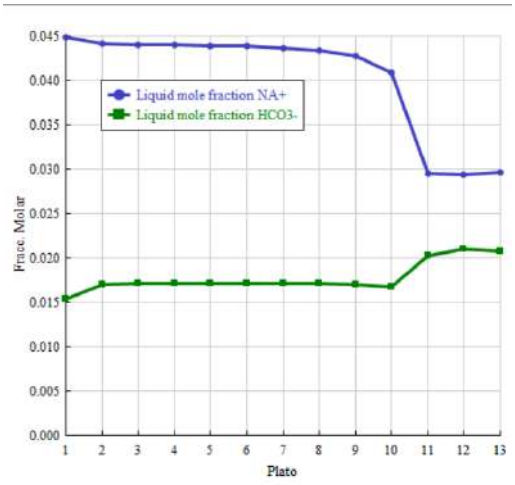


Figura 4. Perfil de composición de Na^+ y HCO_3^- a lo largo de la columna 3Sec11.

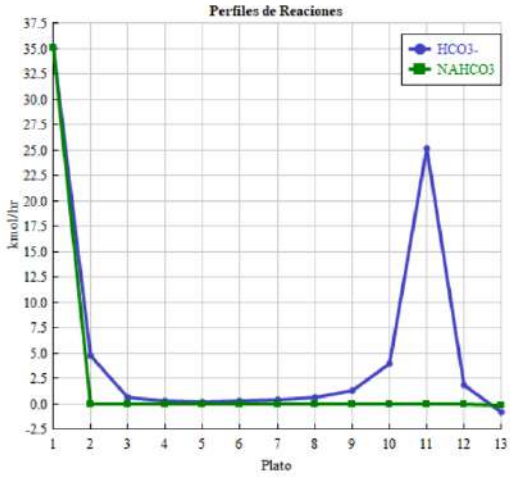
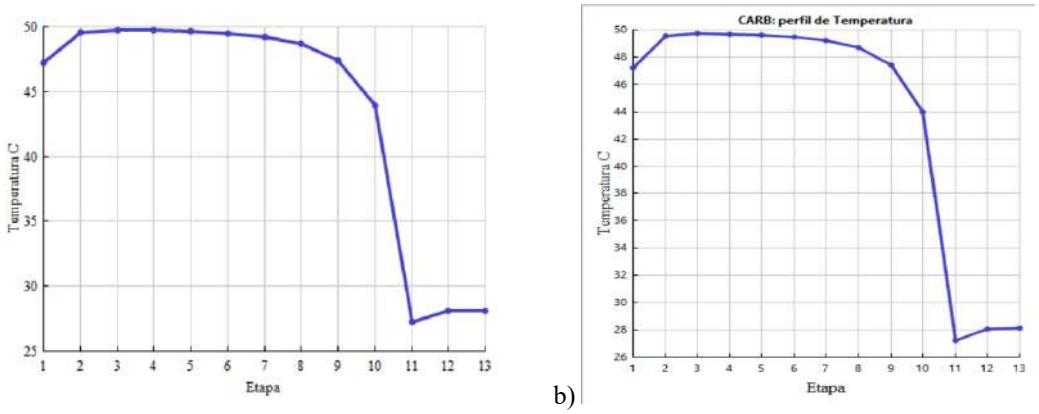


Figura 5. Perfil de reacciones de HCO_3^- y $NaHCO_3$ en la columna 3Sec11.

Tabla 7. Costos de las columnas estudiadas

Columna	Costo Capital [USD]	Costo de servicios [USD]
3 secc11	5.016.540	519.499
3 secc10	5.017.670	519.499
2secc 10@13	5.052.850	519.499
2 secc11@13	5.053.290	519.499



a) b)

Figura 6. Perfiles de temperatura de las columnas. a) Caso 1. b) Caso 2

Tabla 8. Resultados de la simulación de las columnas estudiadas

Columna		2Sec11@13	2Sec10@13	3Sec11	3Sec10
Corriente	Unidades	Bicarbo	Bicarbo	Bicarbo	Bicarbo
Fase					
Temperatura	°C	28,109	28,116	28,109	28,115
Flujo Másico	kg/h	41042,941	41043,495	41042,940	41043,476
H_2O	kg/h	28644,745	28644,733	28644,745	28644,738
CO_2	kg/h	136,203	136,268	136,202	136,265
CO	kg/h	0,066	0,066	0,066	0,066
N_2	kg/h	5,306	5,304	5,306	5,303
O_2	kg/h	0,573	0,573	0,573	0,573
Na+	kg/h	1291,868	1291,902	1291,867	1291,910
Cl-	kg/h	3330,653	3330,653	3330,653	3330,653
NH_4+	kg/h	1419,596	1419,704	1419,596	1419,699
OH-	kg/h	0,001	0,001	0,001	0,001
H_3O+	kg/h	0,000	0,000	0,000	0,000
NH_3	kg/h	595,633	595,665	595,633	595,668
$NaHCO_3$	kg/h	3171,297	3171,174	3171,300	3171,145
HCO_3-	kg/h	2397,005	2397,453	2397,002	2397,455
CO_3--	kg/h	49,997	50,001	49,997	50,001

(3Sec10); 1000,67 (2Sec10@13) y (1000,81 para la columna 2Sec11@13. Por lo expuesto, la mejor columna desde el punto de vista de costo-rendimiento es 3Sec11.

5 CONCLUSIONES

Si se comparan las columnas de carbonatación de 2 y 3 secciones del tipo aquí estudiado, la mejor opción es la columna 3Sec11, tanto, desde el punto de vista de costo total, como del costo por kilogramo de bicarbonato de sodio producido.

Es 0,7% más barata que la columna más costosa: 2 secc11@13. A pesar que la diferencia es escasa, se ratifica que es más conveniente refrigerar la etapa 11 que la 10. La etapa refrigerada, de la forma aquí expuesta, presenta saltos de composición, temperatura y flujo, pronunciados, respecto al resto de las etapas. El rendimiento (materia prima/ producto) de las columnas, es el mismo.

El estudio presentado permite preguntarse si la solución hallada seguirá siendo válida, si se realizasen otros diseños teniendo en cuenta menores caudales en la etapa de refrigeración o cuan sensibles serían estos (diseños) a cambios de esa variable.

6 REFERENCIAS

Cervera Gracia, L, L. Izquierdo, J. P. Labrozzi, M. Moreno, E. O. Ordóñez, R. Vidal. (2006). *Planta de producción de carbonato sódico*. Tesina de Ingeniería Química. Escuela Técnica Superior de Ingeniería.Cormos, A. M, C. C. Cormos, P. Agachi. (2007). Making soda ash manufacture more sustainable. A modeling study using ASPEN Plus. *17th European Symposium on Computer Aided Process Engineering – ESCAPE17*.

Irahola Ferreira, Jaime A. (2021). Selección de la etapa optima a refrigerar en una columna de carbonatación. *Encuentro Argentino y Latinoamericano de Ingeniería. CLADI. Facultad de Ingeniería de la UBA*, Buenos Aires.

López de Azarevich, Vanina L., Isidoro B. Schalamuk y Miguel Azarevich. (2020). Proyecto: instalación de una planta de carbonato de sodio en el noroeste argentino, para la producción de carbonato de litio. *El litio en la Argentina: visiones y aportes multidisciplinarios desde la UNLP*. Universidad Nacional de La Plata. p 221-229.

Wagialla K. M., I.S. Al Mutaz and M. E el Dahshan. (1992). The manufacture of soda ash in the Arabian Gulf. *International Journal of production Economics,* 27. 145-153.

Prototipo de un secadero solar para secar snack de carne de cabra

Juárez, Sandra M.[1]; Thir, Nadia [1];Constantinidi, Leandro [1];Coronel, Marcos[1]; Suarez, Walter [1]; Paz, María M[1].

(1) Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero smjuarez79@gmail.com; pazoca13@gmail.com

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue construir un prototipo de secadero solar de bajo costo, portátil para el secado de snack de carne de cabra adulta, adicionado de un sistema de medición y adquisición de datos para el control, monitoreo y registro de humedad y temperatura del proceso de secado.
En el proceso de análisis para la construcción de prototipo de secadero solar estático a instalarse en la provincia de Santiago del Estero de Argentina se evaluaron diferentes aspectos en relación al producto: forma, tamaño, cantidad; al equipo: posibilidad de desarmado, materiales económicos y de fácil reemplazo, de fácil transporte; al ambiente: ubicación, condiciones atmosféricas, radiación solar. Este análisis permitió desarrollar un prototipo en escala piloto de secadero estático, económico, liviano y desmontable que facilita el traslado del equipo. Para realizar el seguimiento del proceso de secado se desarrolló un datalogger local inalámbrico usando tecnología IoT que permite registrar y almacenar las mediciones de las variables del proceso temperatura y humedad. Como resultado se obtuvieron graficas que dan cuenta del buen funcionamiento del mismo.

ABSTRACT

The objective of this work was to build a prototype of a low-cost, portable solar dryer for drying adult goat meat snacks, adding a measurement and data acquisition system for the control, monitoring and recording of humidity and temperature of the drying process.
In the analysis process for the construction of a prototype of a static solar dryer to be installed in the province of Santiago del Estero in Argentina, different aspects were evaluated in relation to the product: shape, size, quantity; to the equipment: possibility of disassembly, cheap and easy-to-replace materials, easy to transport; to the environment: location, atmospheric conditions (humidity and average temperature), solar radiation, thisanalysis allowed the development of a pilot-scale prototype of a static, economical, lightweight and removable dryer, which allows it to be moved without difficulty from one area to another. To monitor the drying process, a local wireless datalogger was developed using IoT technology that allows recording and storing the measurements of the process variables temperature and humidity. As a result, graphs were obtained that account for the proper functioning of the same.

Palabras claves: secadero solar- snack- cabra

Keywords: solar dryer- snack- goat

1. INTRODUCCIÓN

Santiago del Estero está entre las provincias con el mayor número de animales caprinos del país (aproximadamente 953.000 cabezas) y al igual que en el resto del noroeste argentino, se desarrolla mayoritariamente en sistemas campesinos. A partir de estas estimaciones, se calcula que la cría de ganado caprino genera un puesto de trabajo cada 75 animales, producto de la división de la cantidad de animales sobre los puestos de trabajo ocupados.

Se reporta que, de cada animal caprino adulto sacrificado, se pierde un promedio aproximado de 15 kg de pulpa de carne al deshuesar una hembra adulta Anglo Nubian (Herrera, 2005; García, et.al, 2008), lo cual representa un valor importante para ser recuperado y utilizado en la elaboración de productos cárnicos.

El charqui, se elabora con carne rebanada en filetes, desgrasada, salada y luego secada. La baja humedad del aire, habitual en la puna, favorece el proceso de secado. Algunos autores informaron que la carne de animales más pesados y sobre todo de mayor edad es más adecuada para ser procesada y tratada con sales de curado y/o ahumada o secada. (Webbet.al, 2005; Nedianiet.al, 2017). El charqui de llama obtenido en secador solar se caracteriza por tener un porcentaje elevado de proteínas, menor contenido graso, bajos niveles de colesterol, buena aceptabilidad y calidad higiénica (Iriarte, 2001; Rivera, 1996;Unidad Ejecutora. Proyecto Camélidos, 1996).

Tradicionalmente, el proceso de secado de la carne para la obtención de charqui, se realiza a temperatura ambiente. No obstante, el uso de secaderos solares permite acelerar el proceso, controlando las condiciones higiénicas del producto, con un costo moderado (Echazú et al, 2001).

El desarrollo de secadores solares para el deshidratado de productos agrícolas es para el norte argentino un trabajo de larga investigación. Los fines perseguidos son siempre similares: la conservación, preparación y posterior comercialización de los productos obtenidos, ya sean de origen animal, como vegetal. En este contexto se ubica el secado de carne para la obtención de Charqui. Desde hace algunos años el INENCO viene realizando aportes al diseño, construcción, ensayo y simulación de secaderos solares pasivos para carne (Duranet al, 2015; Duran y Condorí, 2006; Albesa et al, 2016).

Teniendo en cuenta aspectos netamente comerciales sabemos que hoy los pequeños y medianos productores caprinos comercializan únicamente carne fresca, ya sea de cabra o de capones y los gastos de transporte, mano de obra y almacenamiento del producto fresco son elevados. El 85% de los productores venden los cabritos que producen. El principal comprador es el intermediario, comúnmente denominado cabritero. Un 34% de los productores solamente le vende al cabritero. La venta a estos es al barrido. El resto de los productores (66%) además de venderle a los cabriteros, venden a los vecinos y compradores ocasionales (Contreras et. al, 2016).

El uso de la energía solar para impulsar el secado de las láminas de carne es económico frente a los equipos convencionales y está al alcance de los pequeños y medianos criadores. La posibilidad de contar con un equipo de secado portátil y de bajo costo permitirá que el charqui se elabore próximo a las instalaciones del criadero, lo que determinará una importante diferencia en la ecuación económica final, la incorporación de un sistema de monitoreo y adquisición de datos permitirá controlar el proceso. El uso de esta tecnología les permitirá abrir un nuevo mercado comercial con el agregado de valor a la carne de cabra adulta que hasta hoy era desaprovechada.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 *Aspectos constructivos del secadero de snack*

Existen diferentes formas de configuración de los secaderos y su elección en este proyecto se realizó considerando que los destinatarios finales de la investigación serán pequeños y medianos productores caprinos de zonas rurales de la provincia de Santiago del Estero.

En ese sentido se plantearon los siguientes criterios de decisión y se evaluaron diferentes aspectos:

a). - del producto: forma, tamaño, cantidad

b).-del equipo: posibilidad de desarmado, materiales económicos y de fácil reemplazo, de fácil transporte

c).- del ambiente: ubicación, condiciones atmosféricas (humedad y temperatura media), radiación solar.
a).- Se prepararon diferentes cortes de carne de cabra para evaluar tamaño y sabor de los snacks, para ello se llevaron las muestras a secado por estufa de convección forzada (marca DALVO, modelo DHR/F/I serie PED potencia 2600 W), hasta obtener productos de humedad final de constante. Se seleccionaron cortes en forma de cuadrado y bastones.
b). - El Secadero consta de tres partes: Colector de aire, Cámara de secado y Chimenea las cuales cumplen diferentes funciones (Iriarte,2011)
Colector de Aire: Su objetivo principal es transformar la energía solar en energía térmica, la cual se utiliza para calentar el aire que fluye a través del colector (Vidal, et al, 2012), se encuentra ubicado antes de la cámara de secado, posee tres componentes importantes: la cubierta del techo, la placa absorbente y el espacio de circulación del aire, como se muestra en laFig. 1.

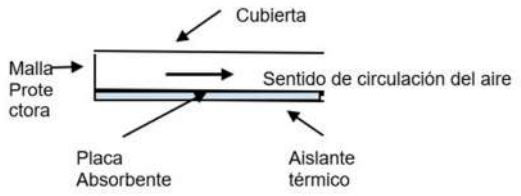


Figura 1. Esquema del Colector de Aire

1.- Cubierta del techo: debe permitir el paso de la radiación del sol hacia la placa absorbente.Se analizaron dos materiales para la tapa del colector de aire: vidrio, film de plástico resistente evaluando sus propiedades físicas, costo y posibilidad de disponibilidad en zonas rurales. El vidrio es costoso, resistente al deterioro de los rayos ultravioletas, su fragilidad es limitante al momento de contemplar la posibilidad de traslado del equipo, no está fácilmente disponible para recambio en caso de ruptura; el film de plástico es económico, liviano, medianamente resistente al deterioro de los rayos ultravioletas. En base a estos criterios se decide usar el film de plástico.
2.- Placa absorbente: es la superficie que absorbe la radiación solar, puede ser lisa, o con aletas o corrugada para mejorar la eficiencia en el aprovechamiento de la radiación solar. Entre los materiales evaluados se encuentran el plástico negro y chapa con pintura negra opaca, por mayor resistencia y durabilidad se elige usar chapa pintada.
3.- Cámara de secado: es el espacio donde se produce la transferencia de calor y de masa entre el aire caliente y las láminas de carne posibilitando la evaporación del agua contenida en el alimento. El recinto de secado puede construirse de ladrillo, madera, concreto o plástico, por economía, practicidad, facilidad de transporte se decidió usar plástico, recubriendo la cámara con material aislante de espuma aluminizada para evitar la pérdida de calor por convección.
c) Para el diseño de un secadero que use la energía solar es necesario conocerlos valores de la irradiación solar del lugar de instalación. El secadero se instalará en la provincia de Santiago del Estero, Argentina que se encuentra ubicada geográficamente a una Latitud de 27,46° y Longitud 64,18°.La Guía del Recurso solar de la Subsecretaría de energías renovables y eficiencia energética de la Secretaría de Energía de la República Argentina (2019) ofrece esta información de manera precisa. Ver Tabla 1.
Dos factores que afectan el rendimiento del colector solar son la inclinación y la orientación del mismo, la literatura consultada cita que por lo general la captación de energía solar es mayor cuando la inclinación del colector es igual a la latitud del lugar donde se instala, en cuanto a la orientación se recomienda que para el hemisferio sur el colector se ubique mirando hacia el norte.

Tabla 1.Irradiación promedio mensual en el plano horizontal [kWh/m^2]

Meses	Temperatura media [°C]	Radiación promedio [KWh/m^2]
Enero	26.9	5.5
Febrero	25.7	5.5
Marzo	23.6	4.0
Abril	20.0	3.0
Mayo	16.3	3.0
Junio	12.3	3.5
Julio	12.4	3,5
Agosto	15.4	3.0
Septiembre	18.1	4.0
Octubre	22.7	4.5
Noviembre	24.6	5.0
Diciembre	26.7	5.5

2.2 *Prototipo del Secadero Solar*

Se desarrolló un prototipo en escala piloto de secadero estático, liviano, desmontable y

económico lo que permite que se traslade sin dificultad de una zona a otra para que el equipo sea utilizado por más de una familia de productores que viven en zonas vecinas.

2.2.1 *Colector*

El colector del prototipo, Foto 1, tiene un Área de 0,65m^2, la estructura de soporte está construida de tubo estructural de 20 x 20 x 1.6 mm, la placa absorbente constituida de chapa calibre 27 pintada con pintura negra opaca se colocó en el fondo del colector, completamente revestido de plástico cristal de 400 micrones remachados. La abertura de ingreso de aire tiene una malla de tejido aluminizado de 14x14 mm de apertura que tiene la función de proteger de polvos e insectos (Foto 1).

Foto 1: Colector de la cámara de secado

2.2.2 *Cámara de secado*

La cámara de secado es un recinto de 0,157 m^3 construido con tubo estructural, el techo y piso son de chapa y las paredes de plástico cristal 400 micrones, remachado. La cámara está recubierta totalmente de material aislante, panel térmico de espuma de polietileno, reflectante, acabado de aluminio en ambas caras Ver Foto 2. La carne de cabra cortada en láminas finas en forma de cuadrados o bastones se dispondrán en bandejas o suspendidas en ganchos de manera que el aire caliente que circule tome contacto directo con el producto. Para el ingreso y egreso del material de secado se cuenta con una puerta lateral de vidrio.

En el techo de la cámara de secado se dispuso de una chimenea de chapa galvanizada de 8 pulgadas de diámetro y un metro de longitud que permitirá la salida del aire caliente húmedo, Ver Foto 3.

Foto 2: Cámara de secado revestida de aislante.

Foto 3: Chimenea de la cámara de secado.

2.3 *Sistema de medición y adquisición de datos*

Para realizar el seguimiento del proceso de secado de las láminas de carne los alumnos de las asignaturas Tecnología de los Servicios Auxiliares y Control de Procesos de la carrera Ingeniería en Alimentos, de Facultad de Agronomía y Agroindustrias de la UNSE armaron un datalogger local inalámbrico que permite registrar y almacenar las mediciones de las variables del proceso temperatura y humedad. Se instaló en el sistema la tecnología de los controladores de IoT (Internet de las cosas, por sus siglas en inglés) que son dispositivos electrónicos que permiten la comunicación y el intercambio de datos entre dispositivos, sensores y sistemas.

El sistema está constituido de los siguientes elementos:

a.-Sensor de humedad y sensor de temperatura: Se utilizaron sensores DHT22 que proporcionan mediciones de temperatura y humedad de alta precisión, +/-0.5 °C para la temperatura y +/-2-5% para la humedad, este tipo de sensor utiliza un solo cable digital para la comunicación de datos, lo que hace que su conexión sea sencilla y fácil de implementar, Fig. 2.

Sensor de humedad/ / temperatura
Voltaje de alimentación: 3.3 V a 5 V DC Corriente de operación: 2.5 mA (máximo) Rango de medición de temperatura: -40 °C a 80 °C Precisión de la medición de temperatura: +/-0.5 °C Resolución Temperatura: 0.1°C Rango de medición de humedad: 0% a 100% RH Precisión de la medición de humedad: +/-2-5% dependiendo de la temperatura Resolución Humedad: 0.1%RH Tiempo de sensado: 2s Tamaño: 15.1 mm x 25 mm x 7.7 mm

Figura:2 Especificaciones técnicas de los componentes del sistema de medición. (Sensor de humedad/ / temperatura)

b.- Módulo NodeMCUes una tarjeta o placa de desarrollo que lleva incorporado un chip ESP8266 con todo integrado y puede funcionar como un ordenador, en su interior posee un microcontrolador o MCU que permite la conexión a través de wifi,Ver especificaciones del Módulo Node MCU y del chip ESP8266 en Fig 3 yFig 4. respectivamente.

Modulo NodeMCU

Voltaje de Alimentación (USB): 5V DC
Voltaje de Entradas/Salidas: 3.3V DC
SoC: ESP8266 (Módulo ESP-12)
CPU: Tensilica Xtensa LX3 (32 bit)
Frecuencia de Reloj: 80MHz/160MHz
Instruction RAM: 32KB
Data RAM: 96KB
Memoria Flash Externa: 4MB
Pines Digitales GPIO: 17 (pueden configurarse como PWM a 3.3V)
Pin Analógico ADC: 1 (0-1V)

Figura 3: Especificaciones técnicas de los componentes del sistema de medición. (MóduloNodeMCU)

Chip ESP8266

Incorpora una MCU de 32-bit de bajo consumo (Tensilica L106)
Módulo WiFi de 2.4 GHz
RAM de unos 50 kB
1 entrada analógica de 10-bit (ADC).
17 pines de entrada y salida GPIO (de propósito general)

Figura4: Especificaciones técnicas de los componentes del sistema de medición, (Chip ESP8266).

c.- Placa base de expansión para NodeMCU Esp8266 Wifi Iot V3 Ch340 que permite facilitar las conexiones del controlador con los 3 sensores, además de poder conectar una batería externa. Sus especificaciones se detallan en la Fig. 5

Placa Base de expansión

LUA Scripting ESP8266
10 GPIO (PWM o I2C o 1-Wire)
Potencia: 19.5dBm en 802.11b
Stack TCP/IP integrado
Corriente en Reposo: < 10uA
USB-TTL incluido, plug & Play
Botones de Reset y Flash
Con CH340 y LDO onboard
Conector Micro USB
Open-Source
Antena integrada en el PCB
Pines de 2 x 2.56mm y 15 pines
Especificaciones de la placa base de expansión:
Tension de entrada: 6V a 24V DC
Conector Jack Hembra para Alimentación
Acceso a todos los pines del ESP8266
Pines I/O en todo el PCB para facilitar el conexionado

Figura 5: Especificaciones técnicas de los componentes del sistema de medición (Placa Base de expansión).

2.4 *Funcionamiento del sistema medición y adquisición de datos*

Se dispusieron los sensores DHT 22 en tres lugares (Foto 4)para registrar la evolución de las condiciones de humedad y temperatura del aire: en el ingreso al colector de aire de modo de registrar las condiciones ambientales, en la cámara de secado para evaluar las modificaciones de las variables al intercambiar masa y energía con los productos a secar y en la salida de la chimenea para evaluar las condiciones de salida de aire. Los datos adquiridos se transmiten al microcontrolador que cuenta con un sistema IoT y que envía los datos directamente a un servidor privado de la plataforma ThingSpeak donde quedan alojados. En la Fig.6 se resume el flujo de la información de las mediciones de humedad y temperatura.

Figura 6: Diagrama de flujo de la información de medición.

Foto 4: Ubicación de los sensores DHT 22 en el secadero solar.

Se realizaron pruebas para chequear el funcionamiento del sistema de medición de datos de temperatura y humedad (Fig. 7 y Fig. 8)

Figura 6 Prueba de registro de temperatura

Figura 8. Prueba de registro de humedad

3 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

3.1 *Discusión*

El secadero de convección natural construido con materiales de fácil reposición, es portátil, de fácil armado, higiénico y económico, muy parecido a los modelos descriptos por Saravia et al, 1990; Echazúet al,2001).A diferencia de la construcción de otros secaderos solares reportados (Duran et al., 2015; Duran yCondorí, 2006, Duran y Condori, 2007; Albesa et al, 2016), en este prototipo se implementó un sistema de adquisición de datos de forma remota, que mejora el control, monitoreo, registro y exactitud de los datos. La comprobación de la puesta a punto del sistema se observa en las gráficas de temperatura y de humedad.

3.2 *Conclusión*

Se construyó un prototipo de secador solar y se realizó una evaluación preliminar del sistema de adquisición de datos. El tipo de secadero solar obtenido usa convección natural, es portátil, de construcción económica, ofrece una solución al problema abordado en este artículo. Al mismo tiempo ayuda a la economía de las familias productoras de ganado caprino y al desarrollo económico de la región, ofreciendo además posibilidades de empleo.

El secadero es una solución real para aprovechar la energía solar de la región y dar valor agregado a la carne de animales adultos que hasta el momento son desaprovechados.

El paso siguiente en el trabajo de esta investigación es la evaluación térmica del equipo y la puesta a punto del mismo para ser usado para el secado de láminas de carne para la obtención del snack.

4. REFERENCIAS

Albesa, F., Altobelli, F., Durán G., Condorí, M. (2016). Obtención Experimental del CoeficienteDifusivo de Carne Deshidratada (charqui). XXXIX Reunión de trabajo de Energías Renovables y Ambiente (ASADES). 4 (3),67-76.

Contreras, M., Auhad, L., Renolfi, R., Ruiz, S., Martínez, M., Piedrasanta, R., Pisano, P. (2016). Caracterización del manejo de la majada caprina en el suroeste santiagueño. Serie de informes técnicos. Colección Divulgación, INTA Ediciones, 92, 23.

Duran, G.,Condorí, M. (2006). Ensayo y modelización de un secador solar pasivo de uso doméstico mediante simusol. Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente, 10(2), 165–172.

Duran, G., Condorí, M. (2007). Ensayo de un secador solar pasivo con chimenea concentrador y extractor eólico destinado a la producción diaria de charqui. Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente, 11, 59–66.

Duran, G, Condorí, M, Altobelli, F (2015). Simulation of a passive solar dryer to charqui production using temperature and pressure networks. Solar Energy, 119, 310–318.

Durán, R., Condorí, M. (2015). El Acceso a La Energía desde la óptica de los Derechos Humanos: Su medición y relación con el acceso a otros derechos elementales en Salta, Argentina.

Echazú, R., Iriarte, N., Morón, M. J., Quiroga, M., Saravia, L. (2001). Secado solar de carne de llamas. Avances en energías renovables y medio ambiente, 5(2), 01-06

García, L.,Martínez, S., Paz M., Roldan, N., Díaz J. (2008). Rendimiento de faena de capones caprinos. Actas del IV Congreso Iberoamericano de Ambiente y Calidad de Vida – V Congreso de Ambiente y Calidad de Vida. Catamarca 2008

Herrera, D. R. (2005). Oficina Técnica INTA. Villa de María. EEA Manfredi. Centro Regional Córdoba.

Iriarte, A., Bistoni, S., Watkins, M., Luque, V., Sánchez, H. Brizuela, L. (2011). Análisis de un Secadero Solar tendalero con torre central en convección natural, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 15,25-32

Nediani, M. T, García, L, Saavedra, L, Martínez, S, López Alzogaray, S,Fadda, S. (2017). Addingvaluetogoatmeat: biochemical and technological characterization of autochthonous lactic acid bacteria to achieve high-quality fermented sausages. Microorganisms, 5(2), 26.

Rivera G. (1996) Manual de Elaboración del Charque, Centro Canadiense de Estudios y de Cooperación Internacional, La Paz, Bolivia

Saravia L., Zunino L.,Echazú R(1990). Performance y Diseño de Secadores Invernaderos de Convección Forzada. Actas de la 14va Reunión de Trabajo de ASADES, 331-341.

Secretaría de Gobierno de Energía. Guía del recurso solar, 1a ed revisada. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Secretaría de Gobierno de Energía, 2019. ISBN 978-987-47110-1-4.

Unidad Ejecutora, Proyecto Camélidos. FOC. (UNEPCA), (1996). Manual de: Matanza, Sangría, Elaboración de Charque, Conservación de Pieles y Comercialización de la Transformación del Ganado Camélido. Oruro, Bolivia.

Vidal, S., Velásquez, Camilo O., De la Cruz, I., Ortega Montiel G. (2012). Diseño y construcción de un secador solar portátil. Academia Journals Congreso internacional de investigación, 4(2),1613-1618

Webb, E., Casey, N.,Simela, L. (2005). Goat meat quality.Small Ruminant Research, 60, 153-166. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.06.009

Efecto del escaldado con *Ilex paraguariensis* en la actividad antioxidante y en los caracteres organolépticos de arvejas

Medina, Analía V.[1,2]; Chaillou, Lucrecia L.[1];Nazareno, Mónica A.[1,2]

(1) Instituto de Ciencias Químicas. Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero, RN 9 Km 1125. Villa El Zanjón. CP 4206, Santiago del Estero, Argentina.
anaveromedina83@gmail.com; lucrechaillou@gmail.com; manazar2004@yahoo.com

(2) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

RESUMEN

Las arvejas son legumbres ricas en lípidos insaturados, además, poseen enzimas prooxidantes tales como la lipoxigenasa (LOX), que promueven procesos oxidativos, con las consiguientes pérdidas de calidad nutricional y organoléptica. El monitoreo de su actividad se ha propuesto como indicador de la eficacia del escaldado para inactivarla. Generalmente, este tratamiento, se realiza utilizando agua caliente. Debido a que el extracto acuoso de *Ilexparaguariensis* (EIP) presenta una notable actividad antioxidante atribuible a su alto contenido de compuestos fenólicos, se propuso utilizarlo para el blanqueo de arvejas. Los objetivos de este trabajo fueron: evaluar la actividad enzimática residual de LOX, el contenido de compuestos fenólicos y analizar los caracteres organolépticos de las arvejas escaldadas con agua y con EIP. Todos los tratamientos evaluados inactivaron LOX. El mejor fue el escaldado a 95°C durante 4 min en EIP puesto que redujo la actividad de LOX en un 95%, presentó el mayor contenido de compuestos fenólicos y la mayor capacidad antirradicalaria. Los panelistas no percibieron diferencias significativas entre los atributos sensoriales de los tratamientos estudiados. Esto permitiría emplear EIP para mejorar las condiciones de escaldado de vegetales y aumentar su contenido de compuestos fenólicos.

ABSTRACT

Peas are legumes rich in unsaturated lipids; in addition, they have pro-oxidant enzymes such as lipoxygenase (LOX), which promote oxidative processes, with the consequent loss of nutritional and organoleptic quality. Monitoring its residual activity has been proposed as an indicator of the blanching effectiveness. Generally, this treatment is done using hot water. Since the aqueous extract of *Ilex paraguariensis* (EIP) presents a remarkable antioxidant activity attributable to its high content of phenolic compounds, it was proposed to use it for blanching peas. The objectives of this work were: to evaluate the residual enzymatic activity of LOX, the content of phenolic compounds and to analyze the organoleptic characters of peas scalded with water and with EIP. All the evaluated treatments inactivated the LOXcatalytic activity. The best was blanching at 95°C for 4 min in EIP due to it reduced LOX activity by 95%, presented the highest content of phenolic compounds and the highest antiradical capacity. The panelists did not perceive significant differences between the sensory attributes of the studied treatments. This would allow the use of EIP to improve the blanching conditions of vegetables and increase their content of phenolic compounds.

Palabras clave: caracteres organolépticos- escaldado- *Ilexparaguariensis*- lipoxigenasa

Keywords: organoleptic characteristics- blanching- *Ilex paraguariensis*- lipoxygenase

1. INTRODUCCION

La vida moderna obliga a los consumidores a comprar sus alimentos y almacenarlos durante días o incluso períodos más largos aún; por ello, se necesitan productos con mayor vida útil. Entre las legumbres frescas consumidas a nivel mundial, las arvejas (*Pisum sativum* L.) son relevantes por su aporte nutricional puesto que son ricas en proteínas, carbohidratos, fibras, aminoácidos esenciales, varios micronutrientes como minerales, vitaminas (Bhattacharya y Malleshi, 2012) y ácidos grasos insaturados, como los ácidos oleico, linolénico y linoleico (LA) (Tharanathan y Mahadevamma, 2003).

Las arvejas, como muchas otras semillas y leguminosas, contienen enzimas prooxidantes como la peroxidasa (POD) y la lipoxigenasa (LOX), que son cruciales para la defensa de las plantas (Krzysztof et al., 2012). En consecuencia, al ser ricas en ácidos grasosy tener enzimas prooxidantes, se produce en ellas oxidación lipídica, que es uno de los principales procesos que provocan el deterioro de los alimentos.

Para prolongar la vida útil de las frutas y hortalizas, y previo a los procesos alimentarios de conservación, tales como secado; refrigeración; congelación; fritura; y enlatado, se utilizan diferentes métodos de inactivación o reducción de la actividad enzimática que provoca el deterioro de su calidad organoléptica y nutricional; entre ellos, el más utilizado es el escaldado por inmersión en agua caliente durante un breve período de tiempo (Fennema, 2000).

El escaldado persigue una serie de objetivos, entre los cuales se pueden mencionar: limpiar el producto para inhibir reacciones enzimáticas indeseables, que dan lugar a sabores o coloraciones indeseables; expulsar el aire ocluido en los espacios intercelulares del tejido vegetal para aumentar la tasa de transferencia de calor y de masa; reducir el contenido de residuos químicos, lixiviando sustancias naturales indeseables de algunos vegetales, residuos agroquímicos y pesticidas (Xiao et al., 2017) y para reducir la carga microbiana viable (Afoakwa et al., 2013). La eficiencia del blanqueo depende de la correcta elección de las variables del proceso, así como de los parámetros de inactivación de las enzimas responsables del deterioro del producto (Anthon y Barret, 2002). En la industria alimentaria, las actividades de peroxidasa (POD) y polifenol oxidasa (PPO) se utilizan comúnmente como indicadores de la eficacia del escaldado. Ambas son responsables de cambios indeseables en la calidad de frutas y hortalizas (Cruz et al., 2006). Además, como la POD es una de las enzimas más termoestables dentro del grupo de enzimas responsables del deterioro de la calidad durante el procesamiento y almacenamiento de frutas y hortalizas, los tiempos y temperaturas de su inactivación son considerables (Bahçeci et al., 2005). Como la LOX de arvejas, porotos, papas y maíz es más termolábil que POD (Ganthavorn et al, 1991), se ha propuesto considerar la inactivación de LOX, que participa en el deterioro oxidativo, como indicador de eficacia de escaldado (Barret et al., 1995; Medina etal., 2018a).

La yerba mate (*Ilex paraguariensis*) es una planta nativa de América del Sur, ampliamente consumidaen infusiones y decocciones. Las propiedades antioxidantes del extracto de esta planta (EIP) se atribuyen a sus compuestosfenólicos cuyos niveles son mayores que los del té verde y similares a las que se encuentran en el vino tinto (Valerga et al., 2012), destacándose el ácido clorogénico(Burris etal.,2012). Se ha reportado que su utilización en el escaldado de arvejas mejora la inactivación de LOX(Yonny et al., 2018). Sin embargo, en bibliografía no se ha informado sobre su efecto en los caracteres sensoriales.

El objetivo del presente trabajo fue comparar el efecto en arvejas frescas del escaldado convencional con el realizado con EIP, evaluando la actividad residual de LOX, el contenido de compuestos fenólicos, la actividad antirradicalaria y el efecto en los caracteres organolépticos.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1 *Materiales y diseño de tratamiento de escaldado*

Se emplearon arvejas frescas adquiridas en mercados locales que inmediatamente se sometieron a escaldado. El EIP se preparó usando una decocción de yerba mate de procedencia comercial, manteniéndola en agua hirviendo durante 3 min. La proporción fue 30 g de yerba mate por litro de agua. Posteriormente, se dejó que el extracto alcanzara temperatura ambiente y se filtró usando un colador (Anbinder etal., 2011). Muestras de 10 g de arvejas frescas fueron lavadas, escurridas y divididas en cinco grupos:

control sin tratamiento (C); escaldados por inmersión en agua caliente durante 4 min a 85 °C (TA1) y a95 °C (TA2); escaldado por inmersión en EIP durante 4 min a 85 °C (TIP1) y 95 °C (TIP2). Se seleccionaron estas combinaciones de tiempo y temperatura de acuerdo con lo reportado por Medina etal. (2018b). Luego del tratamiento, se extrajeron las muestras y se enfriaron en un baño de agua a 8 °C. Finalmente, las arvejas se secaron con papel tissue para eliminar el agua superficial. Todos los experimentos se realizaron por triplicado.

2.2 *Aislamiento de LOX de arvejas*

A partir de 50 g de arvejas, aplicando la técnica del cuarteo, se obtuvieron muestras de 10 g. Éstas se trituraron con el homogeneizador con 50 mL de agua destilada a 4°C. La mezcla se filtró tres veces (con filtro de tela). El homogenato se centrifugó a 25000 g, manteniendo la temperatura a 4°C durante 20 min.Se recolectó el sobrenadante (extracto crudo) para las mediciones de actividad enzimática (Gökmenet al., 2002).

2.3. *Determinaciones analíticas*

2.3.1. Actividad enzimática

La actividad de LOX se determinó utilizando ácido linoleico, Tween 20 y agua desionizada. La solución se clarificó con NaOH 1 N y se diluyó con buffer fosfato hasta pH 6. Se tomó una alícuota de esta solución, se llevó a 30 °C y se aireó con corriente de aire durante 2 min. Luego se añadió 1 mL del extracto crudo de LOX. Se leyó la absorbancia a 234 nm, utilizándose como blanco 1 mL de solución de sustrato con 4 mL de solución de NaOH 0,1 N.

2.3.2. Determinación de compuestos fenólicos

Los contenido stotales de compuestos fenólicos se cuantificaron de acuerdo con el método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteau, utilizando ácido gálico como referencia (Singleton et al., 1999).

2.3.3. Actividad antirradicalaria

Se homogeneizaron porciones de 3 g de arvejas usando metanol como solvente de extracción y se irradió con ultrasonido por 30 min. Finalmente, el extracto se centrifugó a 10.000 rpm, a 4 °C durante 15 min.

Se determinaron los cambios en la absorbancia a 517 nm durante 10 min de una solución de 1,1 difenil-2-picrilhidrazilo ($DPPH^{\bullet}$) 33,6µg/mL en metanol (con el agregado de 100 µL de extracto. La medición se realizó en espectrofotómetro UNICAM UV-Visible UV2. La actividad antirradicalaria (AAR) se calculó, mediante la ecuación (1) de acuerdo con lo sugerido por Chaillou y Nazareno (2006).:

$$AAR\,(\%) = 100\left[1 - \frac{A_m^{\infty}}{A^0}\right] \quad (1)$$

Dónde:

A^0: absorbancia al tiempo 0 sin el agregado de muestra

A_m^{∞}: absorbancia de la muestra al tiempo infinito

La absorbancia en estado estacionario se obtuvo mediante el ajuste de los perfiles cinéticos.

2.4. *Análisis sensorial*

El análisis sensorial de las muestras fue realizado por 20 panelistas semientrenados (15 mujeres y5varones, con edades comprendidas entre 19 y 54 años). El estudio se realizó en el Laboratorio de Antioxidante y Procesos Oxidativos de la Universidad Nacional de Santiago del Estero, en una sala preparada para pruebas sensoriales. Cada uno de los panelistas recibió, en recipientes de plástico, las cinco muestras de arvejas codificadas con letras al azar (un control y 4tratamientos). Después de probar las muestras, puntuaron la intensidad de los dieciséis atributos sensoriales relacionados con la apariencia, el color, el olor, el sabor y la textura de arvejas frescas y escaldadas, mediante una escala hedónica de 5 puntos (siendo 1 el más bajo y 5 el más alto)(Anzaldúa y Morales, 2014).

2.5. *Tratamiento estadístico*

Los datos se analizaron con los programas INFOSTAT (Di Rienzo et al., 2020)y MICROSOFT EXCEL. Los resultados se expresaron como media ± desviación estándar; y para analizarlos estadísticamente se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) que permitió evaluar diferencias entre tratamientos($p<0,05$) y el test LSD de comparación de medias para detectar diferencias significativas en el ANOVA. Además, se aplicó el análisis de componentes principales (PCA) tanto para describir la

variación entre todos los datos sensoriales obtenidos; como para la evaluación general de la similitud y la desigualdad de los tratamientos. Este análisis se muestra en un diagrama biplot. Para mejorar la visualización del agrupamiento de los atributos sensoriales en cada uno de los tratamientos evaluados se utilizó un gráfico radial o diagrama de araña.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. *Actividad catalítica de LOX*

En la Tabla 1 se muestran los valores de actividad residual de LOX luego de aplicar cada tratamiento estudiado.

Tabla 1. Actividad de LOX luego del blanqueo

Tratamientos	**Actividad de LOX (UA/g)**
C	8,56± 0,46^{a}
TA1	1,61± 0,05^{b}
TA2	0,84± 0,03^{c}
TIP1	1,27± 0,03^{b}
TIP2	0,44± 0,04^{d}

C: control. TA1: arveja escaldada en agua caliente a 85°C y a 95°C TA2. TIP1: arveja escaldada en extracto de IP a 85°C y a 95°C TIP2. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05).

Todos los tratamientos ensayados inactivaron parcialmente la actividad catalítica de LOX. En particular, el escaldado con EIP tiene un mayor efecto inhibitorio sobre la LOX de arveja, en concordancia con lo reportado por Yonny et. al. (2018) en condiciones de tiempo y temperatura similares. Este efecto se puede atribuir a su mayor contenido de compuestos fenólicos de acuerdo con lo informadopor Chaillou y Nazareno (2006). No se encontraron diferencias significativas en la actividad catalítica de la enzima para los tratamientos con y sin EIP a 85°C. En el resto de los tratamientos se encontraron diferencias con respecto al control. El tratamiento que logró la máxima reducción de la actividad de LOX (95%) fue el de escaldado con EIP a 95°C durante 4 min.

3.2. *Contenido de compuestos fenólicos y actividad antirradicalaria*

Considerando el contenido de compuestos fenólicos y la actividad antirradicalaria, en la Tabla 2,se observan dos grupos diferentes. El primero formado por el control y los tratamientos de escaldado con agua caliente y el segundo constituido por los tratamientos con EIP. El mayor contenido de compuestos fenólicos y la mayor capacidad atrapadora de radicales libres se determinó en arvejas sometidas a los tratamientos del segundo grupo, TIP1 y TIP2.

Tabla 2. Actividad residual de LOX de arvejas después de los tratamientos de escaldado

Tratamientos	**Compuestos fenólicos (mg de ácido gálico/g de muestra)**	**AAR ($DPPH^{\bullet}$) (mg de ácido gálico/g de muestra)**
C	2,88 ± 0,18^{a}	2,16 ± 0,17^{a}
TA1	3,07 ± 0,25^{a}	2,22 ± 0,09^{a}
TA2	3,13 ± 0,13^{a}	2,00 ± 0,03^{a}
TIP1	4,79 ± 0,43^{b}	3,44 ± 0,01^{b}
TIP2	5,52 ± 0,46^{b}	4,21±0,06^{c}

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

3.3. *Evaluación del rendimiento del panel y la calidad de los datos sensoriales*

En la Tabla 3 se presentan los resultados de los puntajes asignados por los integrantes del panela cada uno de los atributos sensoriales evaluados, expresados como la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación (%). En términos generales, los panelistas demostraron un buen uso de la escala para la mayoría de los atributos, ya que no se observaron puntajes con diferencias significativas en cada atributo, dentro de cada uno de los tratamientos.

El análisis de estos puntajes mostró que 12 atributos eran significativamente diferentes ($p<0,05$) en los tratamientos de escaldado estudiados. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas en el resto de los caracteres organolépticos. Esto indica que los panelistas no detectaron alteraciones en el brillo, ni en la astringencia ni percibieron olores raros.

Para analizar la variabilidad entre los tratamientos y el control se realizó un análisis de componentes principales (CP1 y CP2) con los datos estandarizados. Los resultados de este análisis se muestran en la Fig.1. En este gráfico biplot los puntos azules representan los tratamientos y el control; y los vectores los atributossensoriales.

Tabla 3. Puntajes asignados por los panelistas a los atributossensoriales de arvejas sometidas a diferentes tratamientos

TRATAMIENTOS		C		TA1		TA2		TIP1		TIP2	
ATRIBUTOS		x̄±DE	CV	x̄±DE	CV	x̄±DE	CV	x̄±DE	CV	x̄±DE	CV
Apariencia	Tamaño	$3,9^{a}\pm1,3$	33	$3,8^{a}\pm0,7$	19	$3,3^{a,b}\pm1,2$	37	$3,0^{b}\pm0,9$	30	$2,9^{b}\pm0,9$	29
	Marchita-miento	$1,1^{a}\pm0,3$	28	$3,1^{b}\pm0,6$	20	$3,7^{c}\pm0,8$	22	$3,8^{c}\pm0,9$	23	$3,5^{b,c}\pm0,9$	27
Color	Unifor-midad	$3,9^{a}\pm1,2$	31	$3,0^{b}\pm1,0$	34	$3,3^{a,b}\pm1,2$	37	$3,4^{a,b}\pm1,0$	29	$3,3^{a,b}\pm1,1$	33
	Verde	$3,2^{a}\pm1,6$	50	$3,3^{a}\pm1,1$	34	$3,1^{a}\pm1,2$	38	$3,5^{a}\pm0,6$	17	$3,4^{a}\pm1,1$	32
	Amarillo	$1,7^{a}\pm0,8$	49	$2,2^{a,b}\pm0,8$	38	$2,4^{b}\pm1,1$	44	$2,1^{a,b}\pm0,9$	43	$2,0^{a,b}\pm1,3$	63
	Sin brillo	$3,5^{a}\pm1,8$	51	$2,8^{a}\pm1,8$	66	$2,8^{a}\pm1,9$	68	$3,2^{a}\pm1,8$	56	$3,2^{a}\pm1,8$	57
Olor	A hierba	$1,3^{a}\pm0,9$	71	$2,6^{b}\pm1,4$	55	$2,6^{b}\pm1,3$	51	$2,2^{b}\pm1,3$	60	$2,3^{b}\pm1,3$	57
	Olor a arveja	$1,3^{a}\pm0,6$	44	$3,0^{b}\pm1,3$	45	$3,4^{b}\pm1,2$	35	$2,7^{b}\pm1,4$	51	$2,8^{b}\pm1,4$	50
	Olorraro	$1,1^{a}\pm0,3$	28	$1,1^{a}\pm0,3$	28	$1,2^{a}\pm0,7$	58	$1,1^{a}\pm0,3$	28	$1,1^{a}\pm0,3$	28
Gusto	Arveja fresca	$3,3^{a}\pm1,6$	49	$3,3^{a}\pm0,9$	28	$3,5^{a}\pm0,9$	26	$3,2^{a}\pm0,8$	24	$3,4^{a}\pm1,1$	32
	Amargo	$3,1^{a}\pm1,5$	48	$2,3^{b}\pm1,1$	48	$1,8^{b}\pm0,9$	52	$2,4^{a,b}\pm1,2$	50	$2,4^{a,b}\pm1,6$	68
	Astringente	$3,3^{a}\pm1,6$	49	$2,7^{a,b}\pm1,0$	37	$2,4^{b}\pm0,8$	31	$3,0^{a,b}\pm0,9$	30	$2,6^{b}\pm1,0$	39
	Dulce	$1,3^{a}\pm0,7$	56	$1,7^{a}\pm0,9$	57	$1,7^{a}\pm1,0$	61	$1,7^{a}\pm0,9$	56,6	$1,9^{a}\pm1,0$	53
Textura	Jugosidad	$1,3^{a}\pm0,8$	62	$2,^{b}\pm1,1$	51	$2,7^{b}\pm1,1$	43	$2,6^{b}\pm1,3$	49,0	$2,3^{b}\pm1,3$	57
	Dureza	$3,7^{a}\pm1,4$	39	$2,5^{b}\pm0,8$	33	$2,0^{b}\pm1,0$	51	$2,5^{b}\pm1,0$	40,8	$1,9^{b}\pm1,0$	54
	Harinosidad	$1,7^{a}\pm1,2$	74	$2,1^{a,b}\pm1,0$	49	$2,4^{b,c}\pm0,9$	39	$2,5^{b,c}\pm1,1$	42,1	$3,1^{c}\pm1,4$	44

C: control. TA1: arveja escaldada en agua caliente a 85°C y a 95°C TA2. TIP1: arveja escaldada en extracto de IP a 85°C y a 95°C TIP2.Medias con una letra común en las filas no son significativamente diferentes (p > 0,05).

En la Fig. 1, los vectores cerca de los puntos representan los atributos que caracterizan a cada tratamiento. Cuanto mayor es la cercanía del punto al extremo del vector las características sensoriales del tratamiento son más relevantes; por el contrario, cuanto mayor es la proximidad al origen, la representatividad del atributo es menor. De acuerdo con esto, color verde, marchitamiento, harinosidad, sabor dulce, jugosidad, ausencia de color amarillo, gusto a arveja fresca, y la ausencia de olor raro, caracterizan a las arvejas escaldadas con EIP y agua, a las diferentes temperaturas de escaldado. Por otra parte, los atributos de uniformidad y durezason relevantes para la muestra control. Elgráfico biplot de los CP1 y CP2, explica el 87% de la variabilidad de los datos, siendolos atributos de gustoy textura las variables que tienen mayor peso sobre el eje de la componente 1, mientras quelos atributos de color y apariencia tienen mayor peso sobre el eje de la componente 2. Si se observa la distribución de los distintos tratamientos sobre el eje de la CP1, se distinguendos grupos diferenciados, uno constituido por el control y el otro correspondiente a las muestras escaldadas.

Considerando el ángulo que existe entre los vectores, se puede realizar una aproximación cualitativa del grado de correlación entre los caracteres sensoriales analizados, observándose una correlación positiva entre el sabor dulce y el marchitamiento para muestras sometidas al escaldado con EIP; y entre los atributos de uniformidad y dureza de las arvejas del control.

Para evaluar la significancia de las diferencias entre los atributos sensoriales estudiadospara cada tratamiento, se realizó un análisis de la varianza multivariado. Sus resultados se presentan mediante un gráfico radial(Fig. 2).

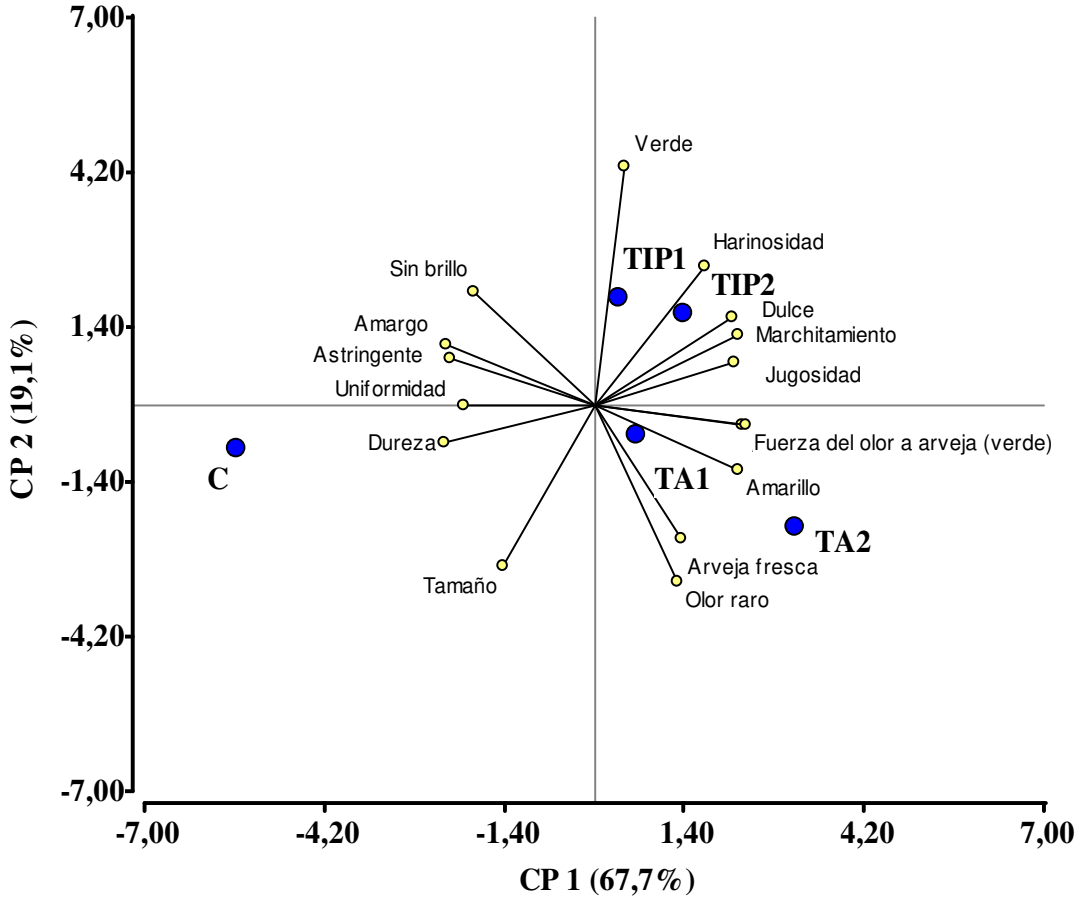


Figura 1. Biplot de análisis de componentes principales. Se analizaron 16 atributos sensorialesde arvejas sometidas a diferentes tratamientos de escaldado.Tratamientos: C, TA1, TA2, TIP1 y TIP2.

No se encontraron diferencias significativas en los atributos de astringencia, brillo, olores raros y el color verde para las arvejas sometidas a los diferentes tratamientos con respecto al control. Además, los panelistas asignaron el menor puntaje al atributo de presencia de olores raros, y un puntaje intermedio a las características referidas al color verde, a la falta de brillo y a la astringencia. Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas en la apariencia, específicamente en el marchitamiento y la dureza de las arvejas sometidas a los diferentes tratamientos de escaldado. En consecuencia, los panelistas no percibieron diferencias relevantes en los atributos vinculados al color, olor y gustod e arvejas escaldadas con agua y con extracto de IP. Esto permitiría emplear extracto de yerba mate para mejorar las condiciones de escaldado, especialmente porque no se observaron alteraciones ni en el olor ni en el sabor.

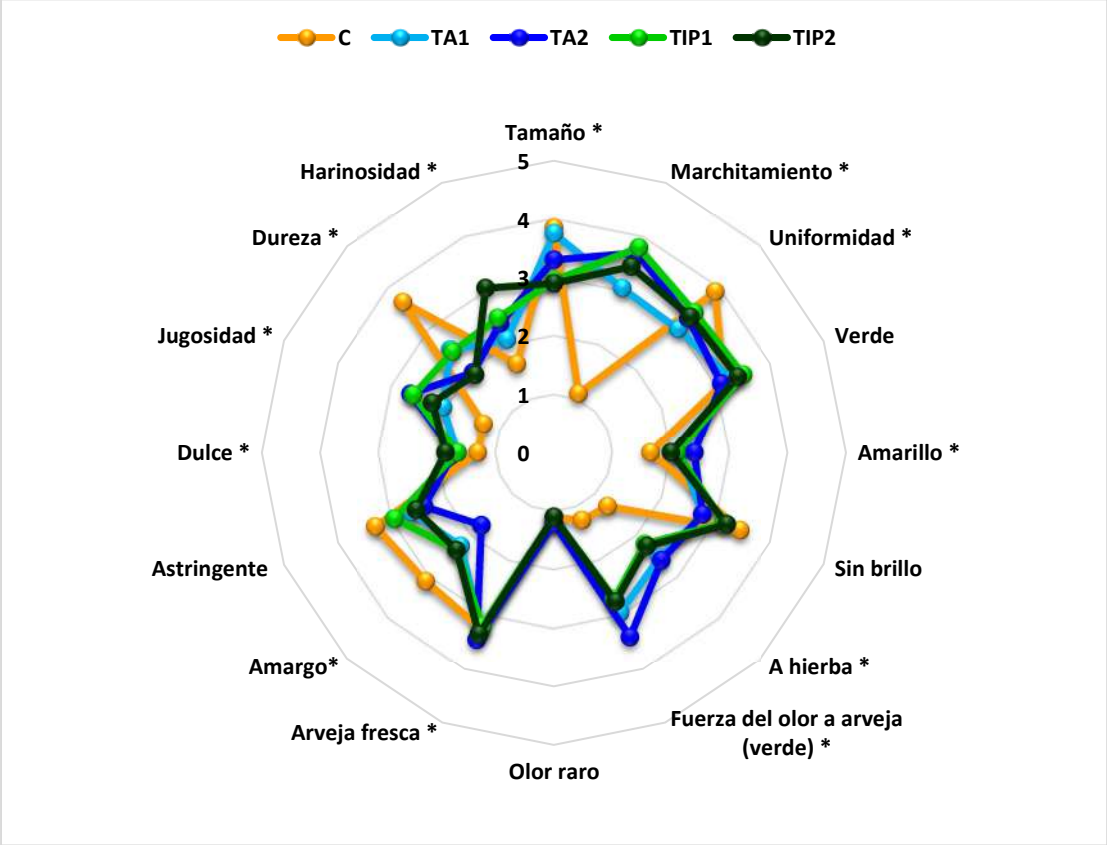


Figura 2. Gráfico radial de puntuaciones medias de 16 atributos sensoriales de muestras de arvejas sometidas a distintos tratamientos. C: control. TA1: arveja escaldada en agua caliente a 85°C y a 95°C TA2. TIP1: arveja escaldada en extracto de IP a 85°C y a 95°C TIP2.Diferencias estadísticamente significativas indicado por *($p<0,05$).

4 CONCLUSIONES

La utilización de yerba mate en el escaldado se presenta como una alternativa promisoria ya que aumenta el contenido de compuestos fenólicos de la materia prima con el consiguiente incremento del efecto inhibitorio de LOXy de la actividad antirradicalaria. Esta actividad, junto a otras asociadas a estas sustancias bioactivas, tiene implicancias fisiológico-nutricionales benéficas para la salud, por ello es interesante su consumo. Los ensayos sensoriales indicaron que no existen diferencias significativas en atributos del sabor tales como el gusto astringente, el color verde y la falta de brillo ni en la detección de olores raros, por lo tanto, los consumidores no percibirían diferencias entre el escaldado con agua y el realizado con extracto de yerba mate.

5 REFERENCIAS

Afoakwa, E. O., Mensah-Brown, H. y Hinneh, M. (2013). Optimization of blanching time, sodium metabisulphite ($Na_2S_2O_5$) concentration and processing time on vitamin C content, microbial quality and sensory characteristics during canning of green pepper (*Capsicum sinensis*) using response surface methodology. *Journal of Food Science and Engineering*, *3*(6), 285.

Anbinder, P. S., Deladino, L., Navarro, A. S. D. R., Amalvy, J., y Martino, M. N. (2011). Yerba mate extract encapsulation with alginate and chitosan systems: interactions between active compound encapsulation polymers.*Journal of Encapsulation and Adsorption Sciences*, 2011, 1, 80-87

Anthon, G. E., y Barrett, D. M. (2002). Kinetic parameters for the thermal inactivation of quality-related enzymes in carrots and

potatoes.*Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(14), 4119-4125.

Anzaldúa-Morales, A. (2014). *La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica*, pp.70-73, 99-102. Acribia. Zaragoza, España.

Bahçeci, K. S., Serpen, A., Gökmen, V. y Acar, J. (2005). Study of lipoxygenase and peroxidase as indicator enzymes in green beans: Change of enzyme activity, ascorbic acid and chlorophylls during frozen storage. *Journal of Food Engineering*, 66(2), 187–192.

Barrett, D. M. y Theerakulkait, C. (1995). Quality indicators in blanched, frozen, stored vegetables: Lipoxygenase, rather than peroxidase. *Journal of American Dietetic Association*, 95, 823.

Barrett, D. M., Garcia, E. L., Russell, G. F., Ramirez, E., Shirazi, A. (2000). Blanch time and cultivar effects on quality of frozen and stored corn and broccoli. *Journal of Food Science*, *65*(3), 534–540.

Bhattacharya, S. y Malleshi, N. G. (2012). Physical, chemical and nutritional characteristics of premature-processed and matured green legumes. *Journal of Food Science and Technology*, *49*(4), 459–466.

Burris, K. P., Harte, F. M., Davidson, P. M., Stewart Jr, C. N., y Zivanovic, S. (2012). Composition and bioactive properties of yerba mate (Ilex paraguariensis A. St.-Hil.): a review. *Chilean journal of agricultural research*, 72(2), 268.

Chaillou, L. L. y Nazareno, M. A. (2006). New method to determine antioxidant activity of polyphenols. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 8397-8402.

Cruz, R. M. S., Vieira, M. C. y Silva, C. L. M. (2006). Effect of heat and thermosonication treatments on peroxidase inactivation kinetics in watercress (Nasturtium officinale). *Journal of Food Engineering*, 72(1), 8–15.

Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M. y Robledo C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL http://www.infostat.com.ar

Fennema, O. *Química de los Alimentos*. (2000) Ed. Acribia. S.A. Zaragoza. España. 1095 p.

Ganthavorn, C., Nagel, C. y Powers, J. R. (1991). Thermal inactivation of asparagus lipoxygenase and peroxidase. *Journal of Food Science*, 56, 47–49.

Gökmen, V., Bahçeci, S. K., y Acar, J. (2002). Characterization of crude lipoxygenase extract from green pea using a modified spectrophotometric method. *European Food Research and Technology*, 215,42–45.

Krzysztof, D., Siger, A., Czubinski, J., Nogala-Kalucka, M. y Lampart-Szczapa, E. (2012). The interactions between rapeseed lipoxygenase and native polyphenolic compounds in a model system. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 89(3), 379–387

Medina, A.; Chaillou, L. y Nazareno, M. (2018a). Parámetros de la cinética de inactivación de lipoxigenasa de choclo durante el escaldado. *Investigaciones en Facultades de Ingenieria del NOA*. ISSN: 1853-662. Número 4. UNSE. Santiago del Estero; p. 314-319.

Medina, A.; Chaillou, L. y Nazareno, M. (2018b). Cinética de inactivación de lipoxigenasa de arveja durante el escaldado. *VII Congreso Internacional Ciencia y Tecnología de los Alimentos*. ISBN 978-987-45380-9-3. Córdoba, Argentina.

Singleton V.L., Orthofer R. y Lamuela-Raventos, R.M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin Ciocalteau reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152-178.

Tharanathan, R. N. y Mahadevamma, S. (2003). Grain legumes—a boon to human nutrition. *Trends in Food Science Technology*, *14*(12), 507–518.

Valerga, J., Reta, M., y Lanari, M. C. (2012). Polyphenol input to the antioxidant activity of yerba mate (*Ilex paraguariensis*) extracts. LWT - *Food Sci. Technol*. 45(1), 28–35.

Xiao, H.-W., Pan, Z., Deng, L.-Z., El-Mashad, H. M., Yang, X.-H., Mujumdar, A. S. y Zhang, Q. (2017). Recent developments and trends in thermal blanching--A comprehensive review. *Information Processing in Agriculture*, *4*(2), 101–127.

Yonny, M. E., Medina, A. V., Nazareno, M. A. y Chaillou, L.L. (2018). Enhancement in the oxidative stability of green peas by *Ilex paraguariensis* addition in a blanching process before their refrigerated and frozen storage. LWT- *Food Science and Technology*, 91, 315-321.

Comportamiento de conservadoras portátiles con técnicas de enfriamiento pasivo en periodo estival de la puna jujeña

Medina, José L.[1]; Santapaola, Julia E.[1]; Fernández Bernis, Federico J.[2]

(1) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.
jlmedina@fi.unju.edu.ar; jsantapaola@fi.unju.edu.ar

(2) Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Jujuy.
ruijujuy@gmail.com

RESUMEN

En la puna jujeña, muchos poblados no poseen acceso a la red pública de energía eléctrica, por lo que el diseño y desarrollo de equipos alternativos para enfriar es de interés. Una alternativa es la Técnica de Enfriamiento por Radiación Nocturna (TERN). Este trabajo tiene por objetivo analizar el comportamiento térmico de una propuesta de enfriamiento mediante TERN en temporada estival del año 2021, y es una continuación de campañas realizadas durante el otoño e invierno del 2019. La experiencia consiste en exponer al enfriamiento por radiación nocturna a dos Módulos Experimentales (ME), con aislamiento térmico y Masa Térmica (MT), uno de los cuales tiene Protección Solar (PS). Estos módulos se contrastan con un tercer Módulo Control (MC) que no tuvo ninguna técnica de enfriamiento y solo presenta aislamiento térmico igual a los ME. Los ensayos se hicieron en la localidad de Abra Pampa, entre los días 28 de noviembre al 3 de diciembre de 2021. Los resultados y el análisis comparativos permiten concluir que la TERN y la MT reducen la amplitud térmica en el interior del ME al menos un 35% comparándola con la del MC, amortiguando la diferencia de temperaturas entre el día y la noche.

ABSTRACT

In the Puna region of Jujuy, many towns do not have access to the public electricity network, so the design and development of alternative cooling equipment is of interest. One of these alternatives is the Night Radiative Cooling Technique (TERN). The objective of this work is to analyze the thermal behavior of a cooling proposal through TERN in the summer season of 2021, and is a continuation of campaigns carried out during the autumn and winter of 2019. The experience consists of exposure to night radiative cooling, two Experimental Modules (ME), with thermal insulation and Thermal Mass (MT), one of which has Solar Protection (PS). These modules are compared a third Control Module (MC) that did not have any cooling technique and only presents thermal insulation equal to the ME. The tests were carried out in the town of Abra Pampa, between the 28th of November and December 3rd 2021. The results and comparative analysis allow us to conclude that the TERN produces temperatures inside the ME at least 35% lower than those of the MC and that the MT absorbs the temperature difference between daytime and nighttime, even during storms.

Palabras claves: (Puna - enfriamiento pasivo – radiación nocturna)

Keywords: (Puna – passive cooling – night radiation)

1. INTRODUCCIÓN

Un gran número de los poblados de la zona de la puna Jujeña están alejados de la red pública de abastecimiento de energía eléctrica, además hay escases de combustibles naturales, lo que reduce la provisión de recursos energéticos al empleo del gas propano que se vende en garrafas a costos muy elevados, con el agravante de que los centros de comercialización generalmente están en zonas muy alejadas. En muchos casos la fuente energética se ve reducida a la extracción de leña,

que aumenta la desertificación en la región, de por sí ya escasa, provocando además una pérdida de biodiversidad. Tanto el empleo de gas propano como la quema ineficiente de leña aumentan la emisión de gases de efecto invernadero. En estas condiciones el uso de recursos climáticos podría dar soluciones a ciertas necesidades para este tipo de localidades. El desarrollo y aplicación de tecnologías utilizando energías renovables, principalmente con el recurso de la energía solar, por ejemplo, construcción bioclimática, electrificación fotovoltaica para accionar bombeos de agua, iluminación, etcétera; resulta una solución para estos poblados donde es difícil acceder a recursos energéticos convencionales para tener cierto confort de vida. Sin embargo, existen ciertas necesidades a cubrir donde aún no se ha profundizado el desarrollo de tecnologías en base a energías renovables, tales como las relacionadas con el enfriamiento y/o refrigeración que es fundamental, por ejemplo, para la conservación de alimentos y/o medicamentos. En este sentido, el desarrollo de equipos de enfriamiento que funcionen en forma pasiva y que su mantenimiento no requiera de mano de obra especializada, es de interés para mejorar las condiciones de vida en estas localidades aisladas.

Entendiendo que el enfriamiento es un proceso de eliminación de calor de un cuerpo o un espacio, el enfriamiento natural consiste en la transmisión de calor, ya sea por radiación (enfriamiento radiativo), por convección-evaporación (enfriamiento evaporativo) o por procesos térmicos de conducción, es decir, por contacto entre los diferentes cuerpos. Particularmente, la Técnica de Enfriamiento por Radiación Nocturna (TERN) es un fenómeno mediante el cual un cuerpo expuesto a la bóveda celeste pierde calor durante la noche debido al balance negativo de radiación que se establece, irradiando calor en forma de onda larga hacia el cielo, el cual actúa como pozo térmico para este tipo de onda, de esta manera inicialmente el cuerpo y el cielo nocturno irradian diferentes energías, el de mayor energía cederá parte de ella mediante radiación hacia el de menor energía, tendiendo a lograr un equilibrio térmico.

Durante las horas nocturnas hay un intercambio negativo de radiación para un objeto expuesto al cielo dado que éste actúa, bajo ciertas condiciones climáticas y ambientales, como un pozo térmico para la radiación de ondas largas, zona del infrarrojo, logrando el enfriamiento del cuerpo expuesto por debajo de la temperatura ambiente. Este método es favorecido en condiciones de cielo limpio, poca humedad y de mayor altitud. Mientras el cielo sea más claro, con baja polución y humedad, y el lugar esté a mayor altitud, la temperatura de cielo será más baja. La puna jujeña se caracteriza por un clima árido, según Buitrago (1999) en esta región la humedad relativa media mensual va desde valores cercanos al 60% en los meses de verano a 30% en invierno, y la media anual es cercana al 47%. Otra de las características de la puna es la fuerte insolación durante el día y una intensa irradiación hacia el cielo durante la noche, lo que lleva a una marcada amplitud térmica entre el día y la noche cuyos valores son del orden de 16°C a 20°C, aunque en casos extremos alcanza los 30°C.

El enfriamiento por radiación nocturna se ve favorecido también por la diafanidad de la atmósfera y la puna jujeña tiene la característica de tener un menor espesor óptico de los gases de efecto invernadero (CO_2 y vapor de agua) asociado a una atmósfera más delgada y con un bajo contenido de vapor de agua, lo que se traduce en una reducción en la absorción atmosférica de la radiación infrarroja terrestre, favoreciendo una mayor pérdida radiativa nocturna desde la superficie, dado que desciende la temperatura de cielo (Sol, 1992) y por lo tanto, un rápido enfriamiento de la misma luego de la puesta del sol; todas estas condiciones son propicias para el diseño e implementación de una TERN.

Se propuso evaluar una TERN mediante conservadoras térmicas portátiles, desarrolladas y construidas para ser aplicadas en la conservación de alimentos y medicamentos en la puna jujeña. La metodología consiste en monitorear en campo, en la localidad de Abra Pampa en la puna de la provincia de Jujuy en campañas realizadas durante épocas estivales como invernales, módulos experimentales construidos considerando la TERN, apoyada con aislamiento térmico y masa térmica. Aunque la masa térmica no se considera como una técnica de enfriamiento, ayuda a mantener condiciones de temperaturas adecuadas en equipos de conservación, manteniendo los niveles de temperatura dentro de un rango. Por lo que se espera que la oscilación interna y la amplitud térmica dentro de los equipos de conservación por TERN dependa de la “masa térmica efectiva” con que cuentan los mismos.

Aunque no hay una definición consensuada de lo que es la inercia térmica, en este trabajo se toma como referencia la dada por Lizarraga (2020), que indica cuan lentamente la temperatura de la masa en cuestión se acerca a la temperatura de su entorno y está relacionado con su conductividad térmica, capacidad calorífica, densidad, entre otros factores. Los materiales ideales para constituir una buena masa térmica son aquellos que tienen alto calor específico, alta densidad y alta conductividad térmica. También el aislamiento térmico entre la parte interna y externa del recinto a enfriar contribuye a mantener la temperatura interna de las conservadoras dificultando el intercambio de calor por conducción entre las paredes internas y externas de los equipos, y transferencia de calor por convección entre las superficies externas de los equipos y el entorno que los rodea, Herrera Sosa (2014).

En este trabajo se muestran los resultados de analizar el comportamiento térmico de las conservadoras térmicas portátiles con enfriamiento pasivo en la temporada estival de fines del año 2021.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la aplicación y monitoreo del enfriamiento por TERN se diseñaron tres conservadoras portátiles idénticas con las siguientes características: forma cúbica de 450 mm de lado exterior, fabricados con madera OSB de 10 mm de espesor pintada en su exterior con pintura epoxi de color blanco. Poseen aislación térmica interior de 50 mm de poliestireno expandido de 20 kg/m^3 y una cámara interna construida con chapa galvanizada de 0,36 mm. De los tres módulos, uno funcionará como Módulo de Control (MC) sin ninguna técnica de enfriamiento pasivo aplicada, los otros dos serán Módulos Experimentales (ME), a los cuales se les agregarán cámaras estancas en su parte superior construida con chapa galvanizada pintada de negro, conteniendo 7,9 kg de agua como masa térmica, estas cámaras serán expuestas a la radiación nocturna. Además, a uno de los ME se le adiciona un dispositivo de protección solar (PS) que consiste en techo separado 100 mm con un volado de 100 mm en el perímetro, construido con madera de las mismas características del módulo cuya finalidad es disminuir la incidencia de los rayos solares sobre el mismo. En las Figuras 1 y 2 se muestran los diseños de los módulos de conservación.

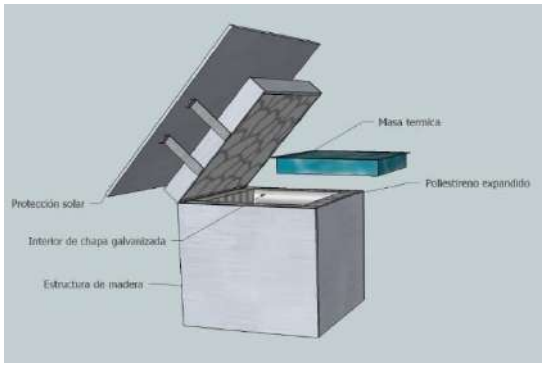


Figura 1: Perspectiva del módulo experimental con protección solar (ME C/PS). El otro ME no presenta la protección solar y el MC no tiene PS y tampoco masa térmica.

La aplicación de la TERN consiste en exponer al cielo nocturno, o sea en las horas que transcurre entre el ocaso y el alba del día siguiente, las masas térmicas de los ME produciéndose el intercambio radiativo con la bóveda celeste y protegerlas durante las horas de insolación con las tapas de las conservadoras, en tanto el MC no se altera su exposición al entorno de ninguna forma.

En la Figura 2 se muestran las conservadoras durante estas dos etapas. La información de los horarios del alba y el ocaso para cada día se obtuvo de las herramientas de la página web SunEarthTools.com (https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?). Cada campaña se desarrolló al menos durante 48 h (dos días). Las temperaturas que se consideran para el análisis son las registradas luego de dejar estabilizar los módulos experimentales durante 24 horas (un ciclo de exposición de las MT al cielo nocturno).

Para el registro de temperaturas se utilizaron cinco sensores digitales autónomos Datta logger BLUESTAR RC4-mini con doble sensor y dos Datta Logger HOBO Pendant MX Temp sumergibles. En todos los sensores se registraron las temperaturas cada un minuto. Tres sensores BLUESTAR RC4 se destinaron para registrar la temperatura interior de cada uno de los tres módulos, ubicándolos en centro de la base a 5 cm de altura de la misma, el cuarto debajo de la PS con el cual está equipado uno de los ME y el quinto registra la temperatura ambiente, protegiéndolo de la radiación solar directa. Los dos HOBO Pendant

MX se colocaron en el interior de las masas térmicas de cada ME. En los datos registrados para este trabajo, el sensor ubicado en el interior del ME con PS dejó de funcionar a las seis horas de empezar el ensayo, por lo que no se pudo contar con las temperaturas en el interior de este módulo.

Figura 2: Los tres módulos en funcionamiento: (1) ME sin PS, (2) ME con PS y (3) Módulo de Control. Imagen superior, durante las horas de insolación, los ME con las masas térmicas cubiertas por sus tapas, en la imagen de abajo durante las horas nocturnas, con los ME exponiendo las masas térmicas al cielo.

2.1 Criterios de análisis de los resultados

En este trabajo se presentan los resultados de la aplicación de la TERN y el registro de temperaturas de la campaña en época estival que se realizó entre las 12:30 h del 28 de noviembre, hasta las 12:30 del 3 de diciembre del 2021. Para el análisis se consideran las temperaturas registradas desde las 12:30 h del 29 de noviembre, ya que, como se dijo anteriormente, las primeras 24 h son para que los módulos se estabilicen.

Para el análisis comparativo de los resultados se consideró dos enfoques: a) Analizar las temperaturas del interior de los módulos, de las masas térmicas y debajo de la PS, comparándolas con la temperatura ambiente a lo largo de los cuatros días de aplicación de la TERN; b) Dividir las 96 h en 4 ciclos de 24 h cada uno, que empiezan a las 12:30 h de cada día. En cada uno de estos ciclos se analiza las temperaturas del interior de los módulos y de las masas térmicas en función de la temperatura ambiente y también se comparan las temperaturas interiores de los módulos con los de la masa térmica del ME sin protección solar. Cabe mencionar que, aproximadamente a las 18:30 h del 2 de diciembre, durante el último ciclo que va desde el 2 al 3 de diciembre, hubo un fenómeno meteorológico donde se produjo una fuerte baja de temperatura, lluvia intensa y caída de granizo.

3. RESULTADOS

3.1. Temperaturas en función de las horas del día.

En esta sección se presentan las temperaturas en función de las horas de los días. Si bien en las gráficas se muestran los valores desde las 12:30 del 28 de noviembre hasta la misma hora del 3 de diciembre, para el análisis se consideran las temperaturas desde las 12:30 del 29 de noviembre, esto se indica en las gráficas por una línea punteada vertical negra. También, para poder identificar las horas de exposición de las masas térmicas al cielo nocturno se discrimina, con curvas diferenciadas, la temperatura ambiente en temperatura ambiente de día y de noche.

En la Fig. 3 se muestran las temperaturas en los interiores del MC y del ME sin protección solar (ME S/PS). Debe tenerse presente que por fallas del sensor en el interior del ME con protección solar (ME C/PS) no pudo registrase dichas temperaturas. Se puede apreciar que en el interior del ME S/PS la temperatura se mantiene levemente por debajo de la temperatura ambiente durante todas las horas del día, mientras que en el interior del MC la temperatura presenta amplitudes térmicas superiores a las del ambiente, siendo la temperatura sustancialmente mayor durante casi todas las horas insolación y ligeramente menor durante la noche.

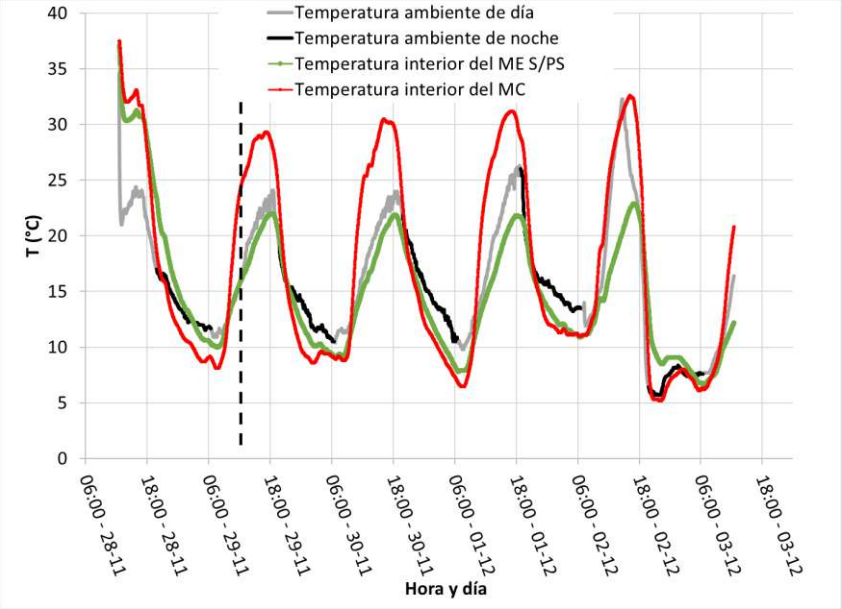


Figura 3: Gráfico en función de las horas del día de: la temperatura ambiente, discriminada entre horas de día y horas de noche, de la temperatura de los interiores del ME sin protección solar (ME S/PS) y del MC. La línea vertical punteada negra indica a partir de donde se consideran las temperaturas para el análisis comparativo entre ellas.

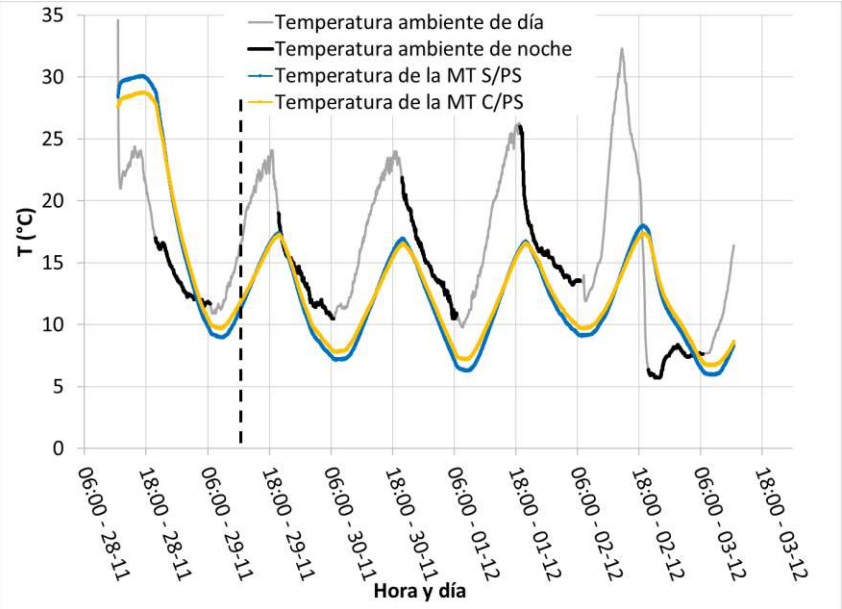


Figura 4: Gráfico en función de las horas del día de: la temperatura ambiente, discriminada entre horas de día y horas de noche, de la temperatura de la masa térmica sin protección (MT S/PS) y con protección solar (MT C/PS). La línea vertical punteada negra indica a partir de donde se consideran las temperaturas para el análisis comparativo entre ellas.

En la Fig. 4 se ve la temperatura en el interior de las masas térmicas (MT) de los dos módulos experimentales: sin protección solar (MT S/PS) y con protección solar (MT C/PS). También la temperatura ambiente, nuevamente diferenciadas las horas diurnas de las nocturnas. Se observa que desde la primera exposición del cielo nocturno ambas masas mantienen sus temperaturas por debajo de la temperatura ambiente, salvo a partir de 18:30 h del 02/12/2021 del último ciclo y es que en ese horario fue cuando se produjo la caída de granizo que duró aproximadamente una hora, finalizando unos 20 minutos antes de que sea el ocaso de ese día y empezara la exposición de las masas al cielo nocturno. También, salvo para la última noche de exposición debido al fenómeno meteorológico mencionado, es observable como a partir del momento de exposición nocturna, las masas térmicas comienzan a descender continuamente sus temperaturas debido al fenómeno de irradiación al cielo nocturno. Este comportamiento genera un pico agudo en el máximo de sus temperaturas. Al momento de ser cubiertas para protegerlas de la insolación, las MT comienzan a frenar este descenso, luego se observa un valle no abrupto donde se presentan los mínimos, cerca de una hora después del amanecer y de ser cubiertas.

Por otro lado, no se observan diferencias marcadas entre las temperaturas de ambas masas térmicas durante el ascenso de las temperaturas hasta el ocaso, donde de nuevo vuelven a ser expuestas al cielo nocturno comenzando el nuevo ciclo. También se puede distinguir una caída abrupta de la temperatura ambiente debido a la tormenta con granizo a las 18:30 h del último ciclo. La Tabla 1 detalla las temperaturas mínimas, máximas, medias y las amplitudes térmicas del ambiente del MC y del ME S/PS durante las 96 h. Se observa que la amplitud térmica en el interior del ME S/PS es 16,3 °C, más de 10 °C menor que las amplitudes de las temperaturas del ambiente y del MC, siendo en este último 0,8 °C mayor que la del ambiente. En cuanto a las temperaturas medias, en el ME S/PS está 1,6 °C por debajo de la media del ambiente y 2,8 °C más bajo que el MC.

En la comparación entre los valores de las temperaturas medias y las amplitudes térmicas del MC y el ME S/PS con la del ambiente, se observa que el comportamiento en esta campaña respecto a las dos anteriores, abril y julio de 2019, es similar en lo que concierne a las amplitudes térmicas, en el MC es superior a la del ambiente, mientras en el interior del ME S/PS cae más de un 20% (Medina et al., 2019). En la Tabla 2 se presentan relaciones porcentuales de las temperaturas medias y amplitudes térmica de los interiores del MC y el ME S/PS, referidas a las del ambiente de las tres campañas. La temperatura media dentro del ME S/PS difiere alrededor de un 15 % respecto a la temperatura media del ambiente, mayor en otoño e invierno y menor en verano, en tanto la amplitud térmica siempre es menor entre un 30% y un 40 %. Por otra parte, se observa que la amplitud térmica dentro del MC siempre está por arriba a la del ambiente.

Tabla 1. Temperaturas mínimas, máximas, medias y amplitudes térmicas del ambiente, del MC y del ME S/PS.

Lugar	Temperaturas [°C]			
	Mínima	Máxima	Amplitud	Media
Ambiente	5,7	32,3	26,6	15,7
Interior MC	5,2	32,6	27,4	16,9
Interior ME/SP	6,6	22,9	16,3	14,1

Tabla 2. Relación porcentual entre los parámetros característicos del MC y el ME S/PS, respecto al medio ambiente, de las tres campañas realizadas.

Campaña	Parámetro	MC	ME S/PS
Abril 2019	Temperatura media	117,2%	126,3%
	Amplitud térmica	109,0%	78,7%
Julio 2019	Temperatura media	90,5%	117,0%
	Amplitud térmica	105,9%	68,3%
Noviembre 2021	Temperatura media	107,6%	89,8%
	Amplitud térmica	103,0%	61,3%

3.2. *Temperaturas por ciclos de 24 horas*

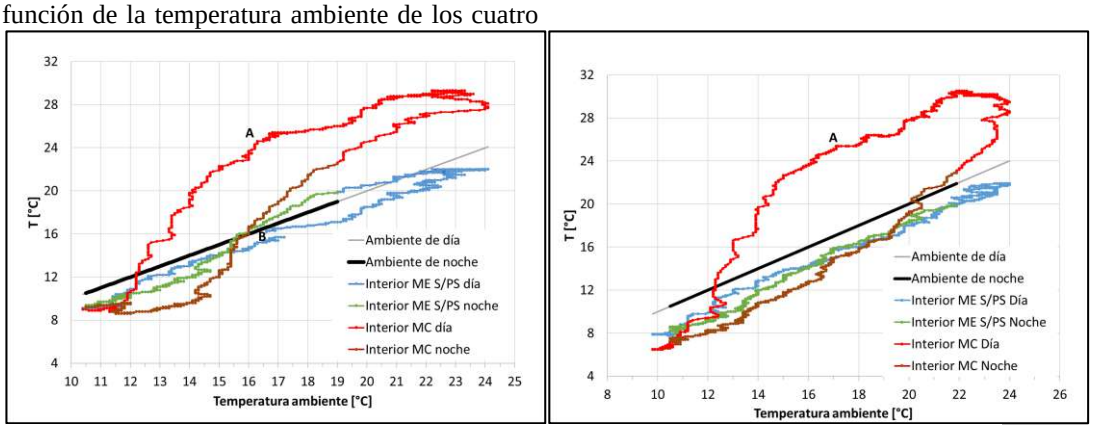
Para esta segunda propuesta de la presentación y análisis de las mediciones de temperaturas se decidió dividir los cuatros días del ensayo, tomando cuatros ciclos de 24 horas cada uno, el primero de ellos comienza a las 12:30 h del 29 de noviembre, un día después de comenzar con los registros de todas las temperaturas, hasta las 12:29 h del 30 de noviembre, dando comienzo al segundo ciclo y así hasta el final del cuarto ciclo a las 12:29 h del 3 de diciembre.

Este criterio para presentar y analizar las temperaturas tiene dos objetivos: a) ver la evolución de las temperaturas del interior de los módulos en cada ciclo e ir comparándolas con la temperatura ambiente, y por otro lado b) ver cómo en cada ciclo la temperatura de la masa térmica afectaría a la temperatura interior del módulo experimental y, a la vez, que pasaría si no estuviera la masa térmica al compararla con la temperatura interior del módulo de control.

3.2.1. Temperatura interior de los módulos en función de la temperatura ambiente

En la Fig. 5 se muestran las temperaturas interiores del módulo de control (MC) y del módulo experimental sin protección solar (ME S/PS) en función de la temperatura ambiente de los cuatro ciclos. Estas temperaturas están diferenciadas entre las horas de insolación y las horas de noche, entre el ocaso y el alba. Para una mejor comparación en los gráficos también se presentan las rectas de pendiente uno correspondiente a la temperatura ambiente, diferenciando las horas de día de las nocturnas.

Se observa que mientras las amplitudes térmicas en el MC son mayores a las de las temperaturas ambiente, en el interior del ME S/PS son menores. También se destaca que al observar las histéresis que presentan las temperaturas en los interiores del MC y del ME S/PS, la diferencia de temperatura entre horas de insolación y horas nocturnas es marcadamente menor para el ME S/PS.



a) Ciclo 1: inicia a las 12:30 h del 29/11

b) Ciclo 2, inicia a las 12:30 h del 30/11

c) Ciclo 3: inicia a las 12:30 h del 01/12

d) Ciclo 4: inicia a las 12:30 h del 02/12

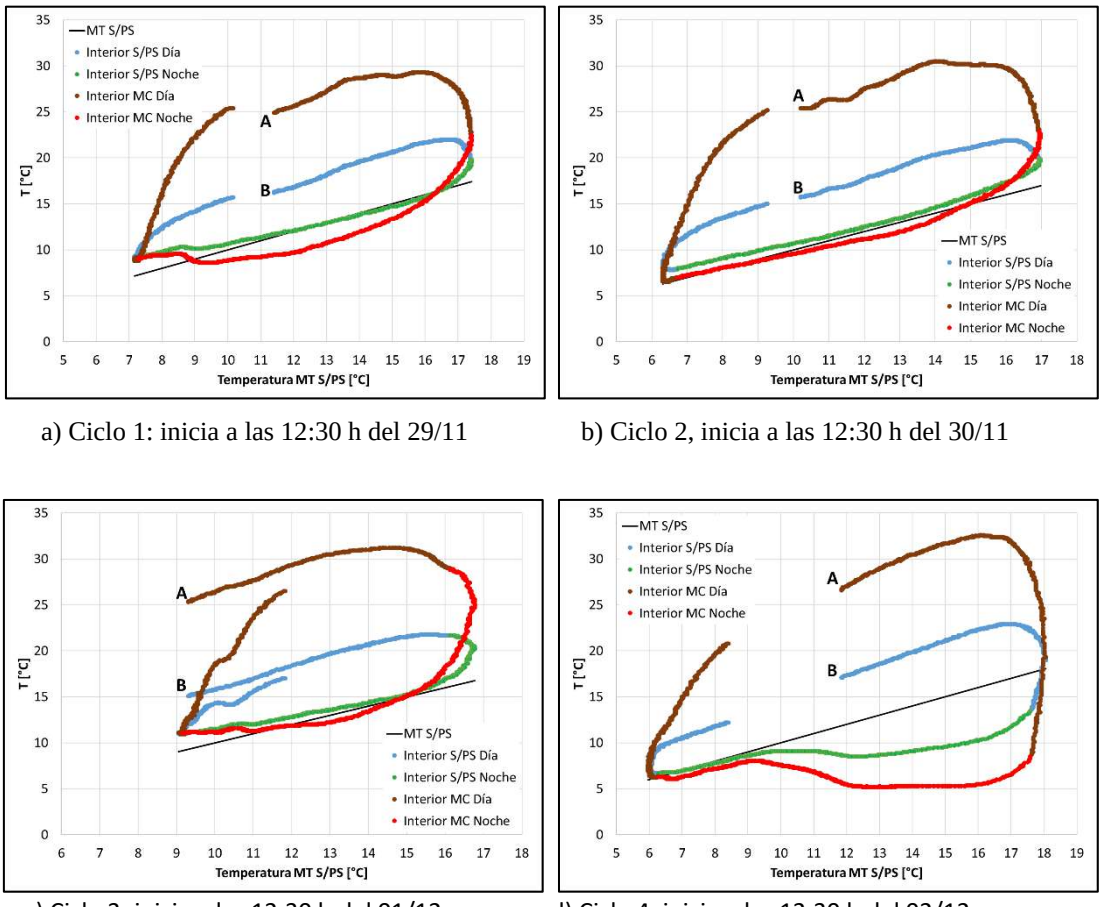
Figura 5: Temperatura en los interiores de los MC y ME S/PS, diferenciados en horas de día y de noche, en función de la temperatura ambiente. Se indican con "A" y "B" los comienzos de los ciclos a las 6:30 h.

En la Tabla 3 se presentan para cada uno de los cuatro ciclos, las temperaturas máximas, mínimas, amplitudes térmicas y las temperaturas medias, del ambiente, del interior del MC y del interior del ME S/PS. Al comparar los registros entre el interior del ME S/PS y el interior del MC, se observa que las amplitudes térmicas son entre 8 y 10 °C menores

en el módulo experimental, y que la temperatura media en ME S/PS permanece al menos 2 °C por debajo del interior del MC.

3.2.2. Comparación entre las temperaturas interiores de los módulos y la temperatura de la masa térmica.

En la Fig. 6 se presentan la temperatura interior del ME S/PS, en función de la temperatura de la masa térmica de dicho módulo (MT S/PS) y, en las mismas gráficas, también está la temperatura interior del MC para poder comparar comportamiento en el interior de los módulos. Como en las figuras anteriores, se distinguen las temperaturas en horas de día y de noche, salvo para la recta correspondiente a la MT S/PS que se toma como referencia. Cada ciclo comienza a las 12:30 h, en la Fig. 6 el inicio de cada ciclo se indica con la letra "A" para temperatura del MC y "B" para el ME S/PS, y para seguir la evolución temporal, se deben recorrer las curvas desde esos puntos en sentido horario. De nuevo se observa la diferencia entre las amplitudes térmicas entre el interior del ME S/PS y el MC.



a) Ciclo 1: inicia a las 12:30 h del 29/11

b) Ciclo 2, inicia a las 12:30 h del 30/11

c) Ciclo 3: inicia a las 12:30 h del 01/12

d) Ciclo 4, inicia a las 12:30 h del 02/12

Figura 6: Temperatura en los interiores de los MC y ME S/PS, diferenciados en horas de día y de noche, en función de la temperatura de la masa térmica del módulo sin protección solar

La excepción es durante el cuarto ciclo cuando se tuvo la tormenta con granizo, en este caso la temperatura interior del ME fue hasta 5 °C por debajo de la MT y cerca del amanecer, alrededor de las 6:00 h del día 3 de diciembre, el interior del ME S/PS se acerca a la temperatura de la MT. Dado que el MC permite inferir que pasaría en la conservadora si no se usara esta TERN con masa térmica, se puede observar en las gráficas de la Fig. 6, que en las horas nocturnas el interior de la conservadora la temperatura sería levemente inferior a la del ME S/PS, salvo en el cuarto ciclo

dónde, debido al temporal mencionado, la temperatura desciende por debajo de la MT, ver Fig. 6d, este descenso es mucho más pronunciado en el MC que en el ME S/PS. Este descenso abrupto antes del ocaso es debido a que los módulos ya estaban rodeados del granizo de la tormenta, tal como se los encontró al momento de ir a destapar a las 19:50 h. a los ME para exponer sus masas térmicas al cielo nocturno, ver Fig. 7.

Tabla 3. Temperaturas mínimas, máximas, medias y amplitudes térmicas del ambiente, de los interiores del MC y del ME S/PS, para cada ciclo de 24 h

	Temperaturas [°C]	Ambiente	Interior MC	Interior ME S/PS
Ciclo 1	Máxima	24,1	29,3	22
	Mínima	10,4	8,6	9,1
	Amplitud	13,7	20,7	12,9
	Media	15,6	17,0	14,4
Ciclo 2	Máximo	24	30,5	21,9
	Mínimo	9,8	6,5	7,8
	Amplitud	14,2	24	14,1
	Media	16,4	17,3	14,4
Ciclo 3	Máximo	26,3	31,2	21,8
	Mínimo	11,9	11	10,9
	Amplitud	14,4	20,2	10,9
	Media	17,6	18,9	15,3
Ciclo 4	Máximo	32,3	32,6	22,9
	Mínimo	5,7	5,2	6,6
	Amplitud	26,6	27,4	16,3
	Media	13,2	14,2	12,2

Por otra parte, durante las horas de día se observa que en el interior del ME S/PS la temperatura prácticamente acompaña seis grados Celsius por encima los cambios de temperatura de la MT S/PS, prácticamente a lo largo del día, desde el amanecer, extremo inferior izquierdo donde se unen las curvas azules y verdes, hasta el ocaso, extremo derecho. En cambio, para el MC, la temperatura durante el día está siempre por arriba de la masa térmica llegando a mantenerse en 14 grados Celsius superior.

En la Tabla 4 se presentan, para la MT S/PS, ME S/PS y MC, las temperaturas máximas, mínimas, medias y la amplitud térmica de los cuatro ciclos.

Tabla 4. Temperaturas mínimas, máximas, medias y amplitudes térmicas del ambiente, del interior del ME S/PS y de su masa térmica (MT S/PS)

	Temperaturas [°C]	MT S/PS	Interior ME S/PS
Ciclo 1	Máxima	17,4	22,0
	Mínima	7,2	9,1
	Amplitud	10,3	12,9
	Media	11,6	14,4
Ciclo 2	Máximo	17,0	21,9
	Mínimo	6,3	7,8
	Amplitud	10,7	14,1
	Media	11,4	14,4
Ciclo 3	Máximo	16,8	21,8
	Mínimo	9,0	10,9
	Amplitud	7,7	10,9
	Media	12,1	15,3
Ciclo 4	Máximo	18,1	22,9
	Mínimo	6,0	6,6
	Amplitud	12,1	16,3
	Media	11,1	12,2

Al comparar las temperaturas medias entre el interior del ME S/PS y la media de su masa térmica, se observa que en los tres primeros ciclos es mayor en el ME S/PS, siendo la diferencia alrededor de tres grados Celsius y esto es la mitad de lo que está desplazada la curva de la temperatura de día del ME SP/S, en celeste en la Fig. 6, de la temperatura de noche, en verde en la Fig. 6, casi coincidente con la temperatura de la MT. En el cuarto ciclo, no se presenta este patrón, de nuevo, debido a la inclemencia del tiempo de ese último ciclo. La foto de la Fig. 7 corresponde al momento en que se estaba por destapar los ME y exponer sus MT, los tres módulos están rodeados de granizo y agua de la lluvia y granizo derretido.

Con el objetivo de analizar la MT S/PS, se focalizo su comportamiento térmico desde las 18:50 a las 20:50 h de cada ciclo, o sea desde una hora antes hasta una hora después de empezar a irradiar al cielo nocturno, 19:50 h, y también desde las 5:30 hasta las 7:30 h, una hora antes y una posterior de empezar a protegerla de la insolación.

Figura 7: Los tres módulos luego de la tormenta con granizo.

3.2.3. Comportamiento de la masa térmica en el proceso de exposición al cielo nocturno.

En la Fig. 8 a, b, c y d se muestra la respuesta de la masa térmica al comienzo y al final de la exposición para los cuatro ciclos que duró la experiencia. En los tres primeros ciclos se ve que la temperatura de la MT va ascendiendo hasta y alrededor de las 19:55 h empieza un marcado descenso de la temperatura, y corresponde al momento que empieza a exponerse al cielo nocturno. El comportamiento del cuarto es diferente debido a la tormenta de granizo que duro, aproximadamente, entre las 18:30 h y 19:30 h, al momento de ir a exponer la MT al cielo nocturno, los módulos estaban rodeados de granizo, incluso las cubiertas y por lo tanto la temperatura de la MT venía descendiendo. Sin embargo, en la Fig. 8d se observa claramente como al momento de exponer la MT al cielo nocturno, la tasa de descenso de la temperatura cambia, evidenciando el intercambio radiativo entre la MT y el cielo.

Analizando el intervalo de dos horas en que se procede a tapar las MT (Fig. 8 e, f, g y h), una hora antes y una después de dicho proceso, nuevamente en los tres primeros ciclos se ve comportamientos similares, la MT viene descendiendo su temperatura, una vez que se lo tapa, 6:30 h, la tasa de descenso cambia y es mucho más baja. En el cuarto ciclo también se nota un cambio en la velocidad de descenso de la temperatura, pero no tan marcado como los tres anteriores.

4. CONCLUSIONES

Se ha realizado un análisis comparativo entre una conservadora a la cual se le incorpora una MT y se ensaya una TERN, y otra conservadora idéntica, pero sin técnica de enfriamiento pasivo ni MT. Los resultados indican que con la TERN y la MT se logra disminuir entre un 38% y 46% la amplitud térmica en su interior y entre 14% y 19% la temperatura media, al compararlas con las del MC.

También se observa que durante la noche, cuando se hace efectiva la TERN, el interior del ME acompaña la temperatura de la MT, y en horas del día, debido a la inercia térmica, se mantiene seis grados Celsius por arriba prácticamente en forma constante, esto lleva a que la temperatura media en el interior del ME S/PS esté tres grados por arriba de su MT y casi tres grados por debajo del MC, es decir en caso de que no se aplique la TERN.

Por otra parte, al contrastar la temperatura interna del ME S/PS con la temperatura ambiente, no se observa una diferencia marcada entre las temperaturas medias, siendo menos del 10% menor en el ME SP/S. En cuanto a la amplitud térmica, durante los tres primeros días no hay diferencia marcada entre el ambiente y ME S/PS; sin embargo, cuando se produjo la caída de granizo, en el último día del ensayo, debido a la inercia térmica de la MT del ME S/PS, se logra contener la amplitud térmica en su interior, siendo casi un 40% menor que la del ambiente, mientras que la amplitud térmica en el interior del MC, para el mismo periodo, es similar a la del ambiente. Por lo tanto, la MT permite mantener cierta estabilidad en la temperatura interna del ME. Estos resultados presentan características similares a las dos campañas anteriores realizadas en abril y julio de 2019.

En base a estos resultados se puede concluir que la utilización de esta TERN como único método de enfriamiento no es suficiente para alcanzar temperaturas entre 0 y 7°C para la refrigeración adecuada de alimentos y/o medicamentos (Moreno et al.,2018). Sin embargo, se podría utilizar otra técnica, por ejemplo, un sistema que use como fuente de energía la captada por un panel fotovoltaico, el cual estaría complementada con esta TERN, cuyo principal aporte sería contribuir con estabilidad térmica en el interior del sistema de enfriamiento, cuando éste lo necesite.

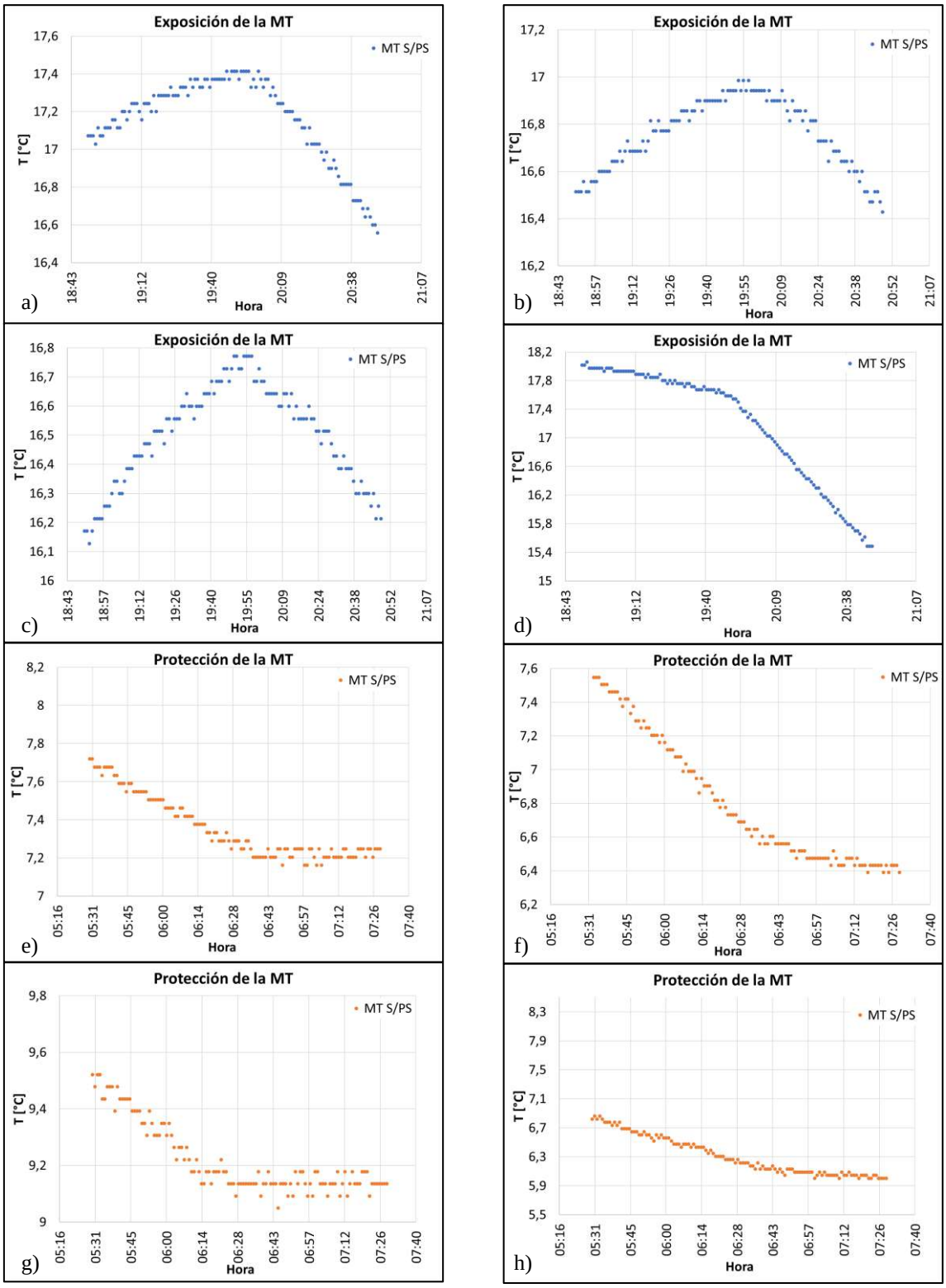


Figura 8: Temperatura de la MT S/PS entorno a los horarios de exponerla al cielo nocturno y protegerla.

5. REFERENCIAS

Buitrago, L. G. (14 junio de 2017). *El clima de la Provincia de Jujuy*. silo.tips. Recuperado el 22 de mayo de 2023. https://silo.tips/download/el-clima-de-la-provincia-de-jujuy

Duffie John A. & Beckman, William A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes (Fourth Edi)*. John Wiley & Sons, Inc.

Frigerio, E. (2000). Emisividad en el NOA. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 4, 7-12. Recuperado el 20 mayo de 2023. http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/79404

Herrera Sosa, L. C.,(2014). Eficiencia de estrategias de enfriamiento pasivo en clima cálido seco. *Revista de Arquitectura*, 16( ), 86-95. https://doi.org/10.41718/RevArq.2014.16.1.10

Incropera, DeWitt, B. & L. (2006). *Fundamentals of heat and mass transfer* (Sixth Edit). John Wiley & Sons, Inc.

Li, Z., Chen, Q., Song, Y., Zhu, B., & Zhu, J. (2020). Fundamentals, Materials, and Applications for Daytime Radiative Cooling. Advanced Materials Technologies, 5(5), 1–19. https://doi.org/10.1002/admt.201901007

Lizarraga, J. M. P. S., & Picallo-Perez, A. (2020). Exergy Analysis and Thermoeconomics of Buildings. Butterworth-Heinemann.

Medina, José L., Fernández Bernis, Federico J., Santapaola, Julia E. (2019). Ensayo preliminar del comportamiento de conservadoras portátiles con técnicas de enfriamiento pasivo. *Libro de resúmenes de las: XIV Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA*. ISBN 978-987-754-203-5, página 167.

Merriam-Webster. (n.d.). *Thermal inertia. In Merriam-Webster.com dictionary*. Recuperado el 01 de mayo de 2023. https://www.merriam-webster.com/dictionary/thermal%20inertia

Moreno, C., Basso, N., Romero, A. y Pouiller, P. (2018). *Manual de carnes y huevos.* Recuperado el 15 de mayo de 2023. http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/L01-9306.pdf

Sol, W. (1992). *An Introduction to SolarEnergy for Scientists and Engineers*. John Wiley & Sons Inc.

Sun, X., Sun, Y., Zhou, Z., Alam, M. A., & Bermel, P. (2017). Radiative sky cooling : fundamental physics , materials , structures , and applications. *Nanophotonics* 6(5), 997–1015. https://doi.org/10.1515/nanoph-2017-0020

Vall, S., Castell, A. (2017). Radiative cooling as low-grade energy source . *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77(January), 803–820. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.010

Microbalanza de cristal de cuarzo: método para el análisis de la viscoelasticidad de lágrimas artificiales

Muñoz[1], Gabriel G.; Millicovsky[1,2], Martín J.; Reta[1], Juan M.; Cerrudo[1], Juan I.; Peñalva[1], Albano; M. Machtey[1], Matías; Torres[3], Rodrigo; Zalazar [1,2], Martín A.

(1) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Entre Ríos, Ruta Prov. 11 (Km 10), (3100) Oro Verde, Entre Ríos, Argentina
gabrielguillermo2015@gmail.com; martin.millicovsky@uner.edu.ar; juan.reta@uner.edu.ar; juan.cerrudo@uner.edu.ar; albano.penalva@uner.edu.ar; matias.machtey@gmail.com;martin.zalazar@uner.edu.ar;

(2) Instituto de Investigación y Desarrollo en Bioingeniería y Bioinformática – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Entre Ríos, Ruta Prov. 11 (Km 10), (3100) Oro Verde, Entre Ríos, Argentina

(3)R.O.M.A.T. Creator Center. Colonia Avellaneda. Entre Ríos, Argentina. Investigador independiente, colaborador de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Entre Ríos, Ruta Prov. 11 (Km 10), (3100) Oro Verde, Entre Ríos, Argentina
romator7@gmail.com

RESUMEN

El síndrome del ojo seco (sos) es un problema de salud pública que constituye una causa primaria de consulta oftalmológica a nivel mundial. La primera alternativa para tratar el sos son las lágrimas artificiales. Su mecanismo de acción depende de su composición química y la información disponible sobre sus propiedades físicas es limitada, sin embargo, conocer estas propiedades y su alteración durante el ciclo de parpadeo podría mejorar la terapia de la enfermedad. Una alternativa es evaluar la viscoelasticidad de las lágrimas artificiales utilizando una microbalanza de cristal de cuarzo con monitoreo de disipación (qcm-d). En este trabajo se presenta un método que combina la identificación de viscosidad y densidad mediante un sistema qcm-d robusto y de bajo costo. El sistema cuenta con un módulo de detección y una placa de circuito impreso (pcb) con pines pogo para conectar los electrodos del cristal a un analizador vectorial de redes (vna). Además, se desarrolló un control de temperatura activo proporcional-integrador-derivativo (pid), basado en una celda peltier. Para validar el método se evaluó el comportamiento viscoelástico de diferentes marcas de lágrimas artificiales.

ABSTRACT

Dry eye syndrome (des) is a public health problem that constitutes a primary cause of ophthalmological consultation worldwide. The first alternative to treat des is artificial tears. Its mechanism of action depends on their chemical composition and the information available on their physical properties is limited, however, knowing these properties and their alteration during the blink cycle could improve therapy for the disease. An alternative is to evaluate the viscoelasticity using a quartz crystal microbalance with dissipation monitoring (qcm-d). This work presents a method that combines the identification of viscosity and density based on a robust and low-cost qcm-d system designed for ophthalmic applications. The system has a sensing module and a printed circuit board (pcb) with pogo ping to connect the quartz crystal electrodes to a vector network analyzer (vna). In addition, a proportional-integral- derivative (pid) active temperature control was developed, based on a peltier cell. The method was validated by evaluating the viscoelastic behavior of different artificial tear trademarks.

Palabras claves: Microbalanza de Cristal de Cuarzo- Lágrimas Artificiales- Densidad- Viscosidad

Keywords: Quartz Crystal Microbalance- Artificial Tears- Density- Viscosity

1. INTRODUCCIÓN

El síndrome de ojo seco (SOS) es una enfermedad multifactorial caracterizada por una película lagrimal inestable que causa una variedad de síntomas y/o discapacidad visual, potencialmente acompañada de daño en la superficie ocular (Tsubota et al, 2020). Este síndrome es un problema importante en salud pública y constituye una causa principal de consulta oftalmológica en todo el mundo (Rodriguez-Garcia et al, 2019). El SOS es multicausal, por lo que se puede presentar como consecuencia de una enfermedad inflamatoria, condiciones ambientales adversas, desequilibrio hormonal, y uso de lentes de contacto (Kobashi et al, 2018). Los trastornos sistémicos como diabetes mellitus, artritis reumatoide y lupus eritematoso sistémico también pueden provocar SOS (Aljeaidi et al, 2020).

Las lágrimas artificiales son la primera línea de terapia para combatir el SOS y están formuladas con componentes específicos que se asemejan a los constituyentes naturales de las lágrimas naturales (Agarwal et al, 2021). La densidad y viscosidad de la lágrima determina su capacidad para adherirse a la superficie ocular y mantener una cobertura adecuada (Simmons &Vehige, 2007). En general, los fabricantes no brindan información detallada sobre estas propiedades en sus productos comerciales (Arif et al, 2020). Optar por la elección equivocada de lágrima artificial puede dar lugar a incomodidades, manifestadas en una sensación de visión borrosa o en la evaporación rápida. Por otro lado, la selección de un producto con la densidad y viscosidad adecuada garantiza una hidratación óptima y un alivio duradero, contribuyendo así a una salud ocular optimizada y a un mayor bienestar en las actividades diarias (Labetoulle et al, 2022).

Un método para analizar las propiedades viscoelásticas de las lágrimas artificiales utilizando unamicrobalanza de cristal de cuarzo con monitoreo de disipación(QCM-D) es presentado en este trabajo. El procedimiento se enfoca en medir los cambios de frecuencia del sensor inducidos por dos volúmenes diferentes de líquido de muestra. Se utiliza un sistema diseñado para esta aplicación biomédica (Muñoz et al, 2023). La tecnología utilizada es de código abierto y los materiales fueron seleccionados para reducir costos. Puesto que el volumen de lágrimas artificiales disponibles es bajo, el módulo de detección se desarrolló para funcionar con un bajo volumen de líquido.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Viscosidad y Densidad

Es difícil encontrar artículos que desarrollen un método para medir la densidad y la viscosidad de una solución desconocida mediante el sensor QCM. Se sabe que el cambio de frecuencia de una QCM y la propiedad del líquido en contacto (producto de densidad por viscosidad) tienen relación (Kanazawa & Gordon, 1985). También se estudió que un solo sensor no es suficiente para la medición de una propiedad específica (Martin et al, 1991), por lo que se implementó un método dual: un sensor tiene una superficie lisa que solo responde al producto de la densidad por la viscosidad del líquido, mientras que el otro tiene una superficie texturizada que no solo responde al producto de la densidad y la viscosidad del líquido, sino también a una respuesta adicional a la densidad del líquido. En un avance posterior se implementó simultáneamente el cambio de frecuencia y el cambio de conductancia del sensor QCM, estableciendo ecuaciones para obtener la densidad y viscosidad del líquido con un solo sensor (Itoh&Ichihashi, 2011). El problema es que solo se utilizaba un único QCM, y el proceso de medición es complejo y es necesario mejorar la precisión. Además, las expresiones de la densidad y la viscosidad del líquido no son explícitas.

En 2016, un grupo de investigación publicó un método para medir las propiedades de un líquido utilizando una QCM con ecuaciones relativamente simples (Tan et al, 2016). Este procedimiento permite obtener por separado la densidad y la viscosidad del líquido, simplificando el proceso de medición y mejorando la precisión. Se mide la frecuencia de resonancia de referencia (f0) de una QCM en aire. A continuación, se deposita un volumen de líquido de muestra VL1 sobre la superficie del sensor, lo que provocará una frecuencia de resonancia f1. El primer cambio de frecuencia es $\Delta f1=f1-f0$. Si se agrega otra muestra de líquido encima del sensor ya cargado, el volumen total será VL2 y el segundo cambio de frecuencia $\Delta f2=f2-f0$. A medida que el volumen varía de

VL1 a VL2, también lo hace la frecuencia de resonancia Δf2-Δf1. La densidad del líquido de la muestra ρ, se calcula de la siguiente forma:

$$\rho = \frac{(\Delta f2 - \Delta f1)}{Kpf.Cpf.VL2.f0} (1)$$

Cpf, es una constante de presión-frecuencia, Kpf es el coeficiente de sensibilidad a la presión del sensor QCM, y se obtiene de la siguiente manera:

$$Kpf = \frac{fo.Kf}{n.D} (2)$$

n es el número armónico del sensor QCM, D es el diámetro del electrodo del sensor QCM, y Kf es la constante de fuerza-frecuencia del sensor QCM.

Por otra parte, la viscosidad del líquido de muestra se calcula con la siguiente ecuación:

$$\eta = \left(\frac{Kpf.Cpf}{(\Delta f2 - \Delta f1).VL2.f0}\right).\left(\frac{\Delta f1.VL2 - VL1.(\Delta f2 - \Delta f1)}{Ktf.Clf}\right)^2 \quad (3)$$

DondeKtf es el coeficiente de sensibilidad a la tensión del sensor QCM, Clf es el coeficiente de frecuencia de tensión del sensor QCM y Clf está relacionado con las propiedades del líquido de muestra.

2.2 Hardware

Elmódulo de detección se diseñó en Autodesk Fusion 360 y se imprimió con una impresora 3D (Creality LD-006) utilizando resina fotosensible como lo muestra la Fig.1. El módulo tiene: 44mm de ancho, 40mm de longitud, 15mm de altura; pesando 21,5g. Se utilizó el software de código abierto KiCad para diseñar una PCB que conecteel VNA (DG8SAQ 3, SDR-Kits) con la QCM. La conexión eléctrica se realizó a través de un conector SMA (Amphenol, bajo ruido) y pines pogo chapados en oro. La parte superior del módulo proporciona un espacio donde se introducen los líquidos. La colocación del cristal es rápida y sencilla, estando en contacto con una junta tórica de silicona que estabiliza la presión y evita el derrame de líquidos. Además, se agregó un sistema de ventilación para optimizar la distribución de la temperatura dentro de la caja.

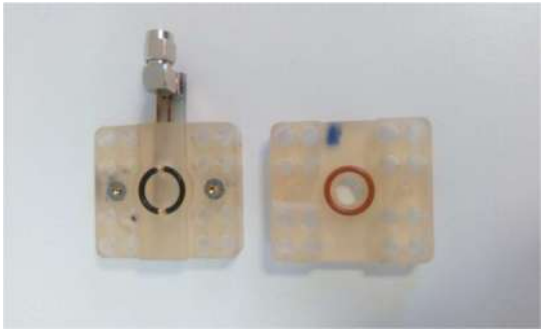


Figura 1. Módulo de detección impreso

El control de temperatura se basó en una celda Peltier (TEC1-12706), la cual está alimentada con 12V y consume un máximo de 6A. Un disipador de aluminio, junto con grasa térmica y un ventilador, favorecen la transferencia de calor entre ambos lados de la Peltier. El control térmico tiene un rango de trabajo nominal de 18°C a 30°C y calefacción y refrigeración bidireccional. Se seleccionó una Raspberry Pi 4 como dispositivo de control, por su flexibilidad, reducido tamaño y bajo costo. La adquisición de temperatura se realiza con un termistor (NTC 3950) que proporciona un tiempo de respuesta rápido y precisión en las mediciones. El programa PID se implementó con Python, un lenguaje de código abierto de uso común. La corriente de la Peltier se controló a través de una señal de modulación de ancho de pulso (PWM) utilizando un controlador de motor paso a paso de 2 canales H-Bridge (VNH2SP30 30 Amp). Se eligió una fuente de alimentación conmutada (12V-10A) para alimentar el controlador, el ventilador y la celda Peltier, mientras que la Raspberry lo hace desde un puerto USB de la PC. El cristal piezoeléctrico adquirido de Novaetech SRL es de corte AT,tiene una frecuencia de resonancia cercana a 10 MHz y fue fabricado especialmente para su uso en aplicaciones debiosensado. El sensor posee una superficie de vidrio plano cuidadosamente pulida, un espesor de 160 µm y una sensibilidad nominal de 4,42 x 10^{-9} $gHz^{-1}cm^{-2}$. El electrodo de oro tiene una capa de adhesión de titanio de un solo lado y los diámetros de los electrodos delantero y trasero son de 11,5 mm y 6 mm respectivamente. El sistema completo se presenta en la Fig. 2 y la lista de materiales utilizados para la construcción del sistema QCM se resume en la Tabla 1.

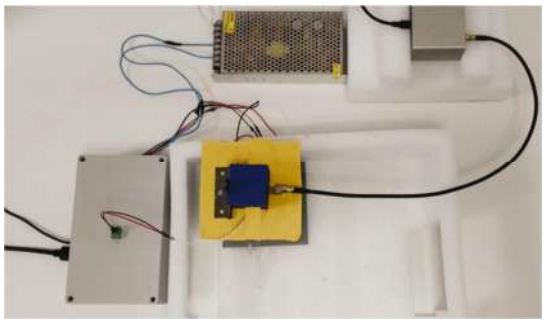


Figura 2. Prototipo Sistema QCM-D

El analizador de red vectorial (VNA DG8SAQ 3, SDR-Kits) fue utilizado para medir el parámetro de dispersión de reflexión (S11) de la señal que hace resonar el cristal. Para analizar el cambio de la frecuencia de resonancia del sensor se busca el pico de la curva de conductancia, la misma se muestra en la Fig. 3. Esto se realiza con el software del VNA, el cual transforma el parámetro original a un parámetro de admitancia (Y), del cual se analiza la parte real, es decir, la conductancia. La aplicación de software proporcionada por el fabricante permite un barrido de frecuencia de 1kHz-0,3GHz y puede medir hasta 65000 puntos de datos con un tiempo de muestreo que oscila entre 0,13ms-100ms. Los datos se pueden exportar como un archivo de formato Touchstone.

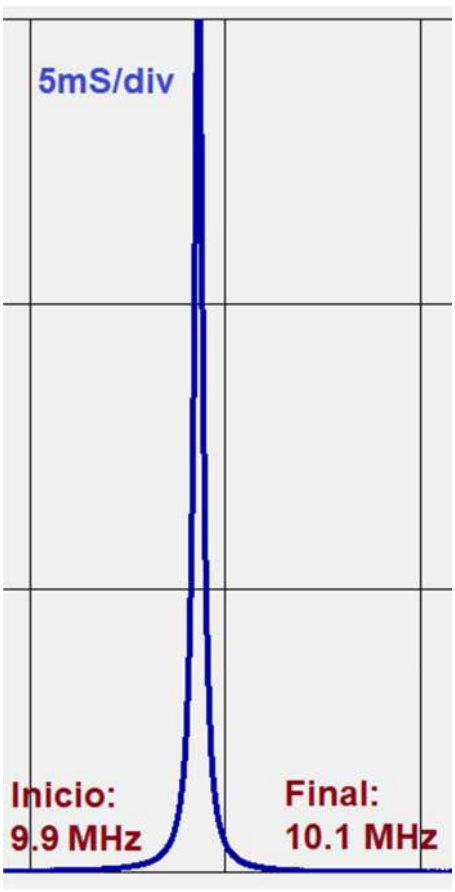


Figura 3. Curva de conductancia obtenida mediante el software del VNA DG8SAQ3

Tabla 1. Lista completa de materiales para el sistema QCM

Componente	Costoporunidad-USD
Celda TEC1-12706	$9.00
Fuente 12V/10A	$19.96
Raspberry Pi 4 modelo B	$75.00
Driver VNH2SP30 30A	$21.71
Sensor NTC 3950	$0.64
Conversor MCP3008 A/D	$3.21
Ventilador	$13.24

Disipador	$20.31
O-ring	$0.36
Pogo-pin	$0.80
Insertos	$0.08
Conector SMA	$10.66
VNA DG8SAQ	$305.88
Sensor open QCM 10 MHz	$26.55
Material PLA impression	$24.69
Material Resina impression	$37.58
Otros components	$20.00

Antes de realizar cualquier experimento, se debe realizar una calibración para la operación de un puerto en VNA. El proceso requiere cambiar la carga (accesorios SMA cortos, abiertos y de 50 ohmios). Una vez calibrado el instrumento de medición, se debe limpiar el cristal con detergente SDS al 2% durante 5 min, enjuagar con agua destilada y secar con gas nitrógeno puro. Luego, se coloca en la junta tórica de la carcasa superior mediante el uso de pinzas plásticas, evitando la presión excesiva y la rotura del cristal. La caja se cierra con tornillos asegurando una presión constante. El fluido contenido en una micropipeta se deposita sobre el cristal a través del orificio de la tapa. Se accede al software del sistema de control de temperatura mediante periféricos conectados a la Raspberry. La interfaz de usuario es simple y amigable para un fácil manejo. El tiempo y la temperatura se pueden configurar una vez que se carga el programa escribiendo el valor en el cuadro de texto y presionando el botón de configuración. Al finalizar los ajustes de configuración, el controlador comienza a funcionar presionando el botón principal ubicado en el sector inferior de la interfaz gráfica. Mientras se controla la temperatura, el botón principal permanece presionado, volviendo a su estado original cuando el tiempo llega a cero. El software del VNA permite observar gráficos en tiempo real y exportar los datos de barrido de frecuencia en formato Touchstone para su posterior análisis mediante el programa gratuito R-studio.

3. RESULTADOS

Se utiliza el agua destilada como muestra de referencia y los parámetros ρ_w = 1.0×103kg/m3 y η_w =8.949x10-4Pa.s, dondeρ_w y η_w denotan la densidad y la viscosidad del agua pura, respectivamente. Primero se determinan los coeficientes de Cpf = 2.9151x10^3m/s^2 y Clf = 2.6019x10^6m$s^{2/3}$. Posteriormente, con la ecuación 1 y la ecuación 3, la densidad y la viscosidad de las soluciones de NaCl a 1 M, y PEG AL 20% se calculan, se eligieron estas sustancias porque son constituyente esenciales en una gran gama de lágrimas artificiales.La tabla 2 y la Fig.4 muestran la variación de frecuencia observada en un experimento donde se evaluaron distintos volúmenes de NaCl y PEG. Los datos de viscosidad y densidad obtenidos para estas sustancias se resumen en la Tabla 3.

Tabla 2. Variación de frecuencia utilizando distintos volúmenes de NaCl y PEG.

	.NaCl (1M)	PEG (20%)
Volumen (µL)	ΔF (Hz)	ΔF(Hz)
0	0	0
50	-402	-50
100	-458	-140

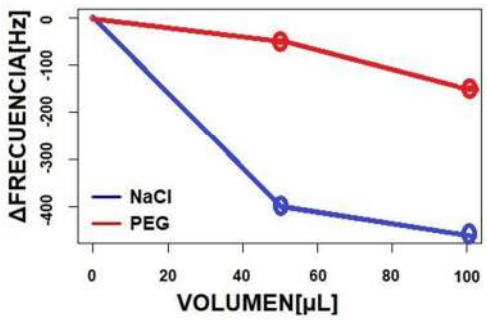


Figura 4: Variación de frecuencia medidas para muestras de NaCl (1M), y PEG (20%).

Tabla 3.Densidad y viscosidad del NaCl (1M) y PEG (20%).

	Valor de referencia a 25°C. Densidad(g/cm3)	Medición con la QCM(g/cm3)	Valor de referencia a 25°C. Viscosidad(mPa.s)	Medición con la QCM Viscosidad(mPa.s)
NaCl(1M)	1.068 (Tan et al, 2016)	1.615	1.0426 (Tan et al, 2016)	0.657
PEG(20%)	1.031 (Gonzalez-Tello et al, 1994)	1.486	12.0 (Gonzalez-Tello et al, 1994)	5.200

Tres diferentes marcas de lágrimas artificiales fueron utilizadas: Glaucotensil® (GL), Systane® (SY) y Tratavant® (TV). La tabla 4 y la Fig.5 muestran los datos de frecuencia donde se evaluaron distintos volúmenes de lágrimas artificiales. Los datos de viscosidad y densidad obtenidos para estas sustancias se resumen en la Tabla 5. La Fig. 6 y 7 muestran la viscosidad y densidad de todas las muestras incluyendo también el NaCl y PEG.

Tabla 4. Variación de frecuencia de lágrimas artificiales.

	GL	SY	TV
Volumen (µL)	ΔF (Hz)	ΔF(Hz)	ΔF(Hz)
0	0	0	0
50	-3744	-3598	-3674
100	-4074	-3632	-3724

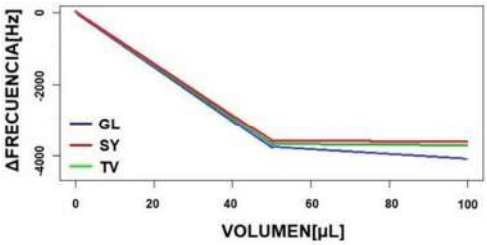


Figura 5: Variación de frecuencia para tres marcas diferentes de lágrimas artificiales.

Tabla 5.Densidad y viscosidad de diferentes lágrimas artificiales.

	GL	SY	TV
Densidad(g/cm3)	1.8129	0.186	0.274
Viscosidad(mPa.s)	1.500	14.9	10.5

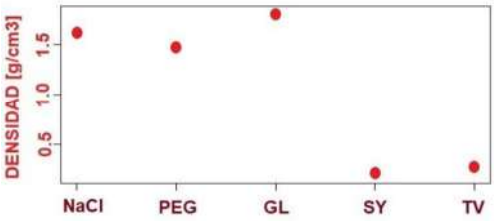


Figura 6: Densidades de las muestras medidas.

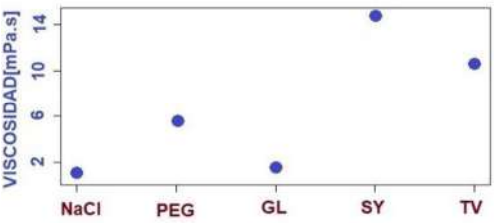


Figura 7: Viscosidades de las muestras medidas

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Se presentó un prototipo QCM-D de código abierto y bajo costo para una aplicación oftalmológica. Está compuesto por piezas simples y de alta calidad que permiten al usuario configurar el dispositivo y su manejo de manera sencilla. En cuanto a la validación, el NaCl y el PEG, mostraron valores de densidad y viscosidad diferentes a lo presentado en la bibliografía para dichas sustancias. La limpieza del cristal puede haber influido en las mediciones. Por otra parte, se pudo diferenciar la viscosidad y densidad de diferentes marcas comerciales de lágrimas artificiales.

La marca GL, la cual no contiene PEG, resultó en valores de viscosidad y densidad parecidos a los de NaCl (1M), mientras que las otras dos si se asemejan a la solución de PEG (20%). Por formulación sabemos que se encuentra PEG en los productos SY y TV. Los cambios en frecuencia fueron significativos al utilizar lágrimas artificiales, ya que respecto al NaCl (1M) y PEG (20%), el corrimiento de la frecuencia de resonancia fue de más de 3.000 Hz. Esto significa que la composición química de los fluidos utilizados, la cual les brinda características físicas distintas, es capaz de generar grandes cambios en la frecuencia de resonancia del sensor QCM, manteniendo constante el volumen del fluido de muestra.

Los próximos pasos implicarán el estudio del rendimiento del sistema en aplicaciones biomédicas mediante el uso de muestras con lágrimas naturales.

5 AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, PICT StartUp 4655: Biosensor para la evaluación cualitativa y cuantitativa de la lágrima.

Queremos agradecer al Laboratorio de PrototipadoElectrónico 3D de la Universidad Nacional de Entre Ríos por brindarnos las facilidades para desarrollar y evaluar nuestro prototipo.

6 REFERENCIAS

Agarwal, P., Craig, J. P., &Rupenthal, I. D. (2021). Formulation considerations for the management of dry eye disease. *Pharmaceutics, 13(2), 207.* https://doi.org/10.1038/s41598-022-26327-3

Arif, F. A. C., Hilmi, M. R., Kamal, K. M., &Ithnin, M. H. (2020). Evaluation of 18 artificial tears based on viscosity and pH. *Malaysian Journal of Ophthalmology, 2(2), 96-111.* https://doi.org/10.35119/myjo.v2i2.109

Aljeaidi, M., Keen, C., Bell, J.S., Cooper, T., Robson, L., y Tan, E.C.K. (2020). Dry eyes, ocular lubricants, and use of systemic medications known or suspected to cause dry eyes in residents of aged care services. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 17 (15).* https://doi.org/10.3390/ijerph17155349

Gonzalez-Tello, P., Camacho, F. &Blazquez, G. (1994). Density and viscosity of concentrated aqueous solutions of polyethylene glycol .*Chemical. Engineering. Data, 39 (3), 611-614.* https://doi.org/10.1038/s41598-022-26327-3

Itoh, A. & Ichihashi, M. (2011). Separate measurement of the density and viscosity of a liquid using a quartz crystal microbalance based on admittance analysis (QCM-A). *Measurement Science and Technology, 22(1).* https://doi.org/10.1088/0957-0233/22/1/015402

Kanazawa, K. K., & J. G. Gordon. (1985). Frequency of a quartz microbalance in contact with liquid. *Analytical Chemistry, 57, 1770-1771.* https://doi.org/10.1021/ac00285a062

Kobashi, H., Kamiya, K., Takehiko Sambe, T. y Nakagawa, R. (2018). Factors influencing subjective symptoms in dry eye diseases. *International Journal of Ophthalmology, 11(12), 1926–1931.* https://doi: 10.18240/ijo.2018.12.08

Labetoulle, M., Benitez-del-Castillo, J. M., Barabino, S., Herrero Vanrell, R., Daull, P., Garrigue, J. S., & Rolando, M. (2022). Artificial tears: biological role of their ingredients in the management of dry eye disease. *International Journal of Molecular Sciences, 23(5), 2434.* https://doi.org/10.3390/ijms23052434

Martin, S. J., Granstaff, V.E., & Frye, G.C.(1991). Characterization of a quartz crystal microbalance with simultaneous mass and liquid loading. *Analytical Chemistry, 63 (20), 2272-2281.* https://doi.org/10.1021/ac00020a015

Muñoz, G.G., Millicovsky, M.J., Reta, J.M., Cerrudo, J. I., Peñalva, A., Matchtey M., Torres, R., & Zalazar, M. (2023). Quartz crystal Microbalance with dissipation monitoring for

biomedical applications: Open source and low cost prototype with active temperature control. *Hardware X, 14.*https://doi.org/10.1016/j.ohx.2023.e00416

Rodriguez-Garcia, A., Loya-García, D., Hernandez-Quintela, E. y Navas, A. (2019). Risk factors for ocular surface damage in Mexican patients with dry eye disease: A population-based study. *Clinical Ophthalmology, 13, 53-62.*https://doi.org/10.2147/OPTH.S190803

Simmons, P. A., &Vehige, J. G. (2007). Clinical performance of a mid-viscosity artificial tear for dry eye treatment. *Cornea, 26(3), 294-302.* https://doi.org/10.1097/ico.0b013e31802e1e04

Tan, F., Qiu, D.Y., Guo, L.P., Ye, P. Zeng, H., Jiang, J., Tang, Y. & Zhang, Y.C.(2016). Separate density and viscosity measurements of unknown liquid using quartz crystal microbalance. *AIP Advances, 6(9).* https://doi.org/10.1063/1.4963298

Tsubota, K., Pflugfelder, S.C., Liu, Z., Baudouin, C., Kim, H.M., Messmer, E.M., Kruse, F., Liang

L., Carreno-Galeano, J.T., Rolando, M., Yokoi, N., Kinoshita, S. y Dana R. (2020). DefiningDry

Eye from a Clinical Perspective. *International Journal of Molecular Sciences. 21(23):9271.* https://doi.org/10.3390/ijms21239271

Estudio de la respuesta mecánica de mezclas de suelo-sal

Navarro, Gonzalo[1]; Jacinto, Abel C.[1]; Pons, María E.[1]

(1) Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán.
navarrogon321@gmail.com; ajacinto@herrera.unt.edu.ar; mepons@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN

Argentina se ha convertido en el cuarto productor mundial de litio y tiene gran potencial en relación con la posibilidad de incrementar su oferta a nivel mundial. Esta situación exige mejorar las técnicas de explotación actuales y diseñar métodos de producción que permitan aprovechar los elementos remanentes de la producción del litio.
En el Salar del Rincón, situado en la Puna Salteña, parte del proceso de extracción consiste en almacenar la salmuera en piletas de evaporación delimitadas por terraplenes de sección trapecial, de pocos metros de altura. Los terraplenes se construyen con el suelo local que recubre el sustrato rocoso y que resulta escaso en las inmediaciones, contrariamente a los abundantes depósitos de sal que crecen como resultado del proceso de extracción de los compuestos de litio.
Elpresentetrabajoestudiaelcomportamientomecánicoquepresentanmezclasde suelo-sal en distintas proporciones, elaboradas con materiales provenientes delSalar del Rincón. La finalidad es utilizar este material compuesto alternativo para construir los terraplenes de cierre en las futuraspiletas de evaporación.

ABSTRACT

Argentina has become the fourth largest lithium producer in the world and has great potential in relation to the possibility of increasing its supply to the worldwide. This fact requires improving current exploitation techniques and designing production methods that make it possible to take advantage of byproducts of the lithium production.
In the Salar del Rincón, located in the Puna Salteña, as part of the extraction process the brine is stored in evaporation pools delimited by trapezoidal embankments of few meters high. The embankments are built with local soil that covers the rock substrate, which is scarce in the vicinity, contrary to the abundant salt deposits that grow as a result of the lithium compound extraction process.
This paper studies the mechanical behavior of soil-salt mixtures in different proportions, made with materials from the Salar del Rincón. The final goal is to use this alternative composite material to build the embankments of the future evaporation pools.

Palabras claves: Suelo-Sal - Litio- Proctor-Carga-Penetración

Keywords: Soil-Salt - Lithium - Proctor - Load-Penetration

1 INTRODUCCIÓN

La explotación de litio está adquiriendo gran relevancia en Argentina debido a la creciente demanda de este mineral a nivel mundial para fabricar, entre otros elementos, baterías de automóviles y dispositivos electrónicos. Nuestro país se ha convertido en el cuarto productor mundial de litio y las principales reservas de este recurso se encuentran en los salares de la Puna. Argentina, Bolivia y Chile integran el llamado "Triángulo del litio", que representa el 65% de las reservas de este mineral en el planeta, y en las últimas décadas ha cobrado relevancia por poseer salares con elevados niveles de concentración de ese mineral.
Argentina tiene gran potencial en relación con la posibilidad de incrementar la oferta de litio a nivel mundial. Esta perspectiva conlleva el

enorme desafío de perfeccionar, en cuanto a eficiencia y sustentabilidad ambiental se refiere, las técnicas evaporíticas implementadas actualmente. También, el diseñar otros métodos de producción, no sólo más rentables sino incluso que permitan aprovechar los elementos remanentes de la salmuera como subproductos de la explotación del mineral.

Parte del proceso de extracción consiste en someter a la salmuera de los salares a distintas etapas de evaporación. En la mina de litio del Salar del Rincón, situada en la Puna Salteña, las piletas de evaporación se construyen con terraplenes de cierre de sección trapecial, de pocos metros de altura, cuyo talud interno, lo mismo que la solera del recinto, se recubren con una membrana de PVC para dar estanqueidad al conjunto. Además, el coronamiento de los terraplenes debe tener un ancho suficiente para permitir la circulación de vehículos de poca envergadura.

Los terraplenes se construyen con el suelo local que recubre el sustrato rocoso y que resulta escaso en las inmediaciones, contrariamente a los abundantes depósitos de sal que crecen como resultado del proceso de extracción de los compuestos de litio.

El presente trabajo estudia el comportamiento mecánico que presentan mezclas de suelo-sal en distintas proporciones. Las mezclas fueron elaboradas consuelo y sal (en estado sólido)provenientes del Salar del Rincón. La finalidad es construir los terraplenes de cierre de las futuras piletas de evaporación, utilizando este material compuesto alternativo para, de esta manera, reducir significativamente los elevados costos de transporte de suelo desde las zonas de préstamos y reutilizar la sal proveniente del proceso productivo.

2 ANTECEDENTES

La principal aplicación de la estabilización de suelos con sal se relaciona con la construcción de caminos, proporcionándoles ciertas características que mejoran el desempeño de los mismos.

En caminos expuestos a climas áridos, donde las altas temperaturas tienden a evaporar la humedad contenida en los suelos y generar altas emisiones de polvo, el empleo de la sal como estabilizante es sumamente beneficioso, ya que, al tener gran poder higroscópico, es decir, capacidad de absorber agua del ambiente, crea en la parte superior de los suelos, una capa blanquecina que funciona como una barrera, evitando que la humedad contenida se evapore rápidamente. También demostró su efectividad al usarla en caminos sometidos a condiciones de hielo y nieve, disminuyendo el punto de congelamiento, garantizando mayor seguridad y durabilidad de los mismos.

Bach Quiroz Alcántara (2020) estudió el comportamiento de suelos granulares y arcillosos mezclados con diferentes proporciones de sal, en peso, y concluyó que la humedad óptima de las mezclas disminuye al incrementar el contenido de sal, mientras que la densidad seca máxima no presenta cambios significativos.

Cerna Montalvo (2019) señala que, en suelos arcillosos, para incrementos de sal de 20%, en peso, el valor del CBR aumenta un 22% respecto al suelo sin adición, mientras que Ramos Carreño (2018) concluye que, para suelos granulares, con incrementos de 15% de sal, en peso, el valor del CBR aumenta un 51% respecto al suelo sin adición.

Garnica Anguas et al. (2002) realizaron ensayos de compresión simple en suelos arcillosos mezclados con diferentes proporciones de sal, en peso, utilizando probetas con un tiempo de almacenamiento de 7 días en un ambiente de humedad controlada y concluyeron que para incrementos de sal de hasta un 20%, en peso, la resistencia a la compresión disminuye respecto al suelo sin adición. Sin embargo, Hinrichsen Triviños (2005) realizó los mismos ensayos en suelos granulares, con probetas con un tiempo de almacenamiento de 6 días en un ambiente de humedad controlada y señaló que para incrementos de sal menores al 2%, en peso, la resistencia a la compresión disminuye respecto al suelo sin adición.

Larrea Olivero y Rivas Cajo (2019) estudiaron la plasticidad en suelos granulares con incrementos de sal variables entre 1% y 30%, en peso, y señalaron que para incrementos de sal menores al 15% el límite líquido y el índice de plasticidad de las muestras disminuyen respecto a los valores del suelo sin adición, mientras que, para incrementos mayores al 15% los valores de plasticidad no presentan cambios significativos.

Se han hallado escasas publicaciones relacionadas con el comportamiento mecánico y deformacional de los suelos salinos y generalmente referidas a suelos finos con al menos alguna componente arcillosa, lo que les imprime propiedades

coloidales y un comportamiento diferente al de los materiales incoherentes, como es el caso del suelo estudiado en este trabajo.

You et al. (2017) estudiaron la transformación de la microestructura de un suelo arcillolimoso salino congelado que cubre amplias regiones frías de China, para contenidos crecientes de sulfato de sodio, y su influencia en el comportamiento mecánico. Mediante ensayos triaxiales CU realizados en probetas congeladas con contenidos de Na_2So_4 variables entre 0% y 5%, en peso, detectaron una disminución y posterior aumento de la resistencia a la rotura para contenidos crecientes de sal. Para un contenido de sal del 5% se alcanzó una resistencia a la rotura bastante mayor que la del suelo desalinizado. El cambio de tendencia en la resistencia a la rotura se produjo para un contenido umbral de sal del orden del 1,5%. A partir de observaciones en el microscopio electrónico y mediante ensayos de intrusión de mercurio, hallaron evidencia de un aumento paulatino del volumen de poros para contenidos salinos crecientes y un cambio en dicha tendencia coincidente con el cambio de tendencia en la resistencia. Atribuyeron el aumento del volumen de poros a un proceso de disolución total de las sales a bajo contenido salino y al consecuente aumento de espesor de la doble capa difusa, con el resultado de una disminución de la cohesión y fricción entre partículas. Para contenidos de sal mayores que 1,5%, la disolución sería parcial debido a la saturación de la solución salina y la sal remanente cristalizaría llenando los poros, fortaleciendo así el vínculo entre partículas y con ello el comportamiento resistente del conjunto.

Zhang et al. (2022) también investigaron la influencia de la cristalización de diferentes tipos de sales en la microestructura y en la deformabilidad y colapsabilidad de un suelo loéssico salino característico de la región noroeste de China, en el que se estimaba una presencia de minerales arcillosos de al menos un 10% en peso. Para ello recurrieron al uso de microscopía electrónica, pruebas de intrusión de mercurio para determinar la porosidad y ensayos edométricos y de colapso por inundación, en muestras de loess compactadas con varios tipos de soluciones salinas. Sus resultados demostraron que el potencial de colapso aumenta con el aumento del volumen de cristales formados en los poros, lo que atribuyen a la mayor capacidad de disolución de cristales en el agua de inundación. El potencial de colapso también resultó ser dependiente del tipo de sal involucrado; sin embargo, esta variable tenía escasa influencia en la compresibilidad del suelo.

3 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

3.1 *El suelo*

La Fig. 1 es una imagen del suelo procedente del Salar del Rincón.

Figura 1. Suelo empleado en los ensayos.

Todos los ensayos de laboratorio se realizaron aplicando la normativa de laDirección Nacional de Vialidad (DNV). Se eligieron tresmuestras aleatoriamente, que se designaron M1, M2 y M3, y paracadaunade ellas se realizaronlos siguientesensayos de clasificación:tamizadodesuelosporvíahúmeda y seca (Norma VNE1-65) y límites de Atterberg (Normas VN E2-65 y VN E3-65).

En la tabla 1 se resumen los valores obtenidos enlos ensayos granulométricos.Se puede observar que, para las tres muestras analizadas, más del 80% en peso pasa por el tamiz N°4 y más del 15% en peso pasa por el tamiz N°200.

Tabla 1. Resultados de la granulometría.

	Pasa [%]		
Tamiz	M1	M2	M3
N°4	82,5	83,2	81,6
N°10	75,8	76,8	74,3
N°40	58,0	60,8	57,8
N°200	17,4	19,9	17,9

En la tabla 2, se resumen los resultados obtenidos en los ensayos para determinar los límites de Atterberg.

Tabla 2. Valores de los límites de Atterberg.

	M1	M2	M3
Límite liquido (LL)	15,7	19,3	16,4
Límite Plástico (LP)	NP	NP	NP
Índice Plasticidad (IP)	NP	NP	NP

De acuerdo con la granulometría y los valores de límite líquido e índice de plasticidad del suelo, se concluye que, según el Sistema HRB (Highway Research Board), se trata de un suelo A-2-4 constituido por grava y arena limosa. Si se emplea el SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) se identifica como una arena mediana a fina con algo de grava y algo de limo inorgánico sin plasticidad (SM).

3.2 *La sal*

La sal empleada en este trabajo es la que se obtieneen las piletas del Salar del Rincóncomo subproducto del proceso de extracción del litio.
La salpresentaunaestructuracristalina,fácilmentesoluble enagua,concristales de tamañosimilaraldeunaarenamediana.La sal que se recibió en el laboratorio tenía una granulometría que variaba desde granos de unos pocos milímetros hasta terrones de varios centímetros.
Para conocer el porcentaje de humedad inicial de la sal, se colocaron 3 muestras en estufa a 110°C durante 24 h. El resultado obtenido parael contenido de agua fue de 0,5%.
En este trabajo no se realizaron ensayos químicos para determinar los elementos componentes de la sal.
En la Figura 2 se observa unamuestradelasalqueseutilizóenestetrabajo.

Figura 2. Muestra desal en balanza antes de colocarla en estufa.

4 METODOLOGÍA DE TRABAJO

Se prepararon 5 mezclas con distintas proporciones de suelo y sal, en volumen, para las cuales se adoptó la siguiente nomenclatura:

1. M 100/0: muestra que contiene 100% de suelo.
2. M 90/10: muestra que contiene 90% de suelo y 10% de sal.
3. M 80/20: muestra que contiene 80% de suelo y 20% de sal.
4. M 65/35: muestra que contiene 65% de suelo y 35% de sal.
5. M 50/50: muestra que contiene 50% de suelo y 50% de sal.

La sal se incorporó a las mezclas en estado sólido. Por ello, con el fin de asegurar homogeneidad en lasmezclas, se decidió triturar los terrones de sal en un mortero de porcelana hasta obtener un tamaño de granos relativamente uniforme.
Se sistematizó un procedimiento para establecer las proporciones en volumen de cada componente de la muestra. Para ello se utilizó un molde metálico quese completó con suelo la cantidad de veces que fuera necesario para que la mezcla final tuviera el volumen de suelo que correspondía. Luego se siguió el mismo procedimiento con la sal. Estos volúmenes se colocaron en una bandeja metálica, para proceder a homogeneizarla muestra, que finalmente se almacenó en un recipiente plástico, donde se la mantuvo hasta el momento de usarla.
El siguiente paso fue determinar para cada mezcla el contenido de humedad óptimo y la densidad seca máxima asociada. Para ello se realizó el ensayo de compactación de suelos siguiendo las directrices de la Norma VN E5-93.Teniendo en cuenta que las mezclas estudiadas se utilizarán para la construcción de terraplenes de baja altura que se compactarán con equipos de mediana envergadura, se optó en esta investigación por elaborar las muestras aplicando el procedimiento del ensayo de compactación identificado como tipo IV en la norma, con las características mostradas en la tabla 3.

Tabla 3. Características del ensayo de compactación tipo IV de la Norma E5-93.

Diámetro molde [mm]	152,4
Peso pisón [kg]	2,5
Altura de caída [cm]	30,5
Número de capas	3
Golpes por capa	56

Antes de compactar cada probeta, se procedió a

secar las muestras en estufa a 110°C durante 24 h, para eliminar el agua inicial presente en las mismas.De acuerdo con los resultados granulométricos del suelo, el porcentaje retenido en el tamiz de 19 mm (3/4") es menor al 15%. Si bien en este trabajo no era un objetivo correlacionar los resultados de los ensayos de compactación con los del ensayo de Valor Soporte, igualmente se realizó la compensación del material retenido en el tamiz de 19 mm por el mismo peso de material comprendido entre este tamiz y el de 4,8 mm (teniendo en cuenta las cribas intermedias, según lo especificado en la normativa), con el fin de conseguir mezclas lo más homogéneas posible, a fin de minimizar la dispersión en los resultados de los ensayos sobre una misma dosificación. En la tabla 4 se muestran los resultados de humedad y densidad seca máxima obtenidos para cada muestra en el ensayo Proctor.

Tabla 4. Resumen de los resultados del ensayo Proctor.

Muestra	Densidadsecamáxima [g/cm^3]	Humedad óptima [%]
M 100/0	2,005	10,5
M 90/10	2,015	10,0
M 80/20	2,038	9,5
M 65/35	2,020	9,0
M 50/50	2,005	8,8

Conocidos los resultados del ensayo Proctor, se procedió a moldear probetas con losvalores de humedad óptima correspondientes a cada muestra, para realizar ensayos de resistencia a la penetración, utilizando una técnica similar a la del ensayo de Valor Soporte, de manera que fuera posible valorar cualitativa y cuantitativamente el efecto de la incorporación de sal en reemplazo parcial de suelo. En este trabajo, se midió la carga necesaria para que un pistón de 19,2 cm^2 de sección transversal penetre en la probeta por la parte superior a una velocidad aproximada de 1,25 mm/min. La penetración del pistón se realiza con una prensa hidráulica con capacidad de aplicar esfuerzos de hasta 10.000 kg. Sobre la superficie de cada probeta, se colocó una pesa anular normalizada de 4,54 kg con el objeto de producir cierto grado de confinamiento durante la penetración y así obtener curvas cargas-penetración bien desarrolladas. La penetración es registrada con un extensómetro con precisión de 0,025 mm (0,001 pulgadas). Se registraron los valores de carga para las siguientes penetraciones: 0,64 mm, 1,27 mm, 1,91 mm, 2,54 mm, 5,08 mm, 7,62 mm, 10,16 mm, 12,70mm, 15,24 mm, 17,78 mm y 20,32 mm.

En la Fig. 3se muestra una fotografía tomada durante la ejecución del ensayo.Para su ejecución, una persona operaba la prensa hidráulica regulando lavelocidad de penetración del pistón en la probeta; otra se ubicaba frente al dial de la prensa para registrar la lectura de carga en el instante en que una tercera ubicada frente al extensómetro, indicaba el momento que se alcanzaban los valores de penetración prefijados.

Figura 3. Ejecución del ensayo Carga-Penetración.

En primera instancia, se optó por comparar la respuesta a la penetración de probetas almacenadas durante un período de 6 días,en un caso al aire libre y enel otroen un ambiente controlado. El almacenamiento al aire libre dependía de la temperatura y humedad presentes en el laboratorio, mientras que el almacenamiento en ambiente controlado se efectuó cubriendo las probetas con bolsas plásticas y colocándolas dentro de un recipiente plástico provisto de tapa.

En la Fig.4 se muestran las curvas carga-penetración obtenidas en muestras M50/50para las dos condiciones de almacenamiento.

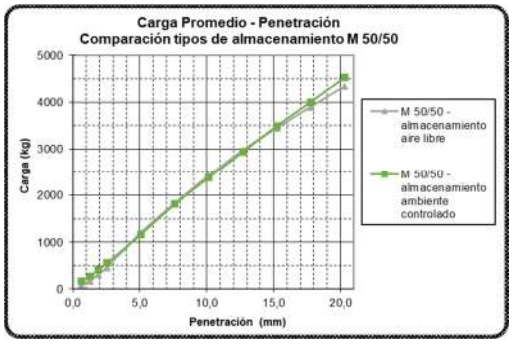


Figura 4. Curvas carga-penetraciónpara muestras M 50/50 bajo dos condiciones de almacenamiento.

Dado que no se observaron diferencias significativas en la respuestadebido a las condiciones de almacenamiento, se optó por continuarcon la campaña de ensayos considerando sólo el almacenamientode las muestras durante 6 díasen ambiente controlado. En lo que sigue, se analizan los resultados obtenidos para esta última situación.

5 ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

A continuación, se muestran los resultados de los ensayos de laboratorio y se realiza un análisis e interpretación de los datos obtenidos.
En la Fig. 5 se representa la variación del contenido de humedad óptimo obtenido en el ensayo Proctor en función del porcentaje de reemplazo de suelo por sal. Se puede observar que, al aumenta el reemplazo de suelo por sal, el contenido de humedad óptimo disminuye.

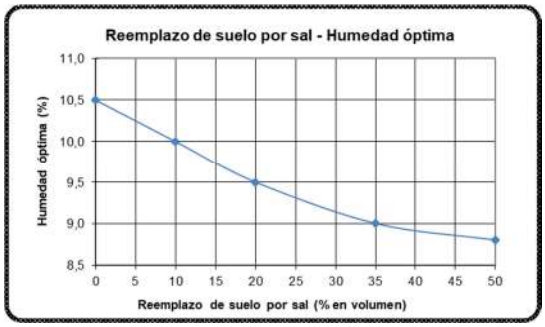


Figura 5. Humedad óptima vs reemplazo de suelo por sal.

En la Fig. 6, se puede observar que la densidad seca máxima obtenida en el ensayo Proctor se mantiene prácticamente constante e independiente de la proporción de reemplazo por sal. Se hace notar que el valor mayor es apenas un 1,5% más elevado que el valor mínimo y esta diferencia se halla dentro de los valores de dispersión tolerables en resultados experimentales.

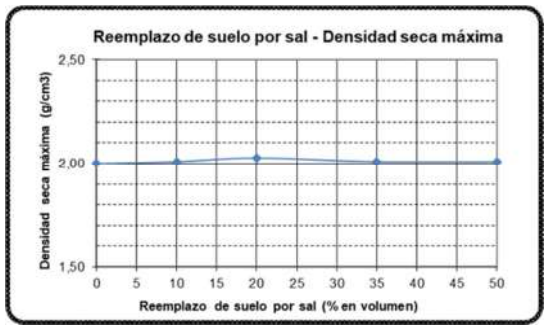


Figura 6. Densidad seca máxima vs. reemplazo de suelo por sal.

Los resultados de las Figs. 5 y 6 son consistentes con los publicados por Bach Quiroz Alcántara (2020).
En la Fig.7 se muestran las curvas promedio del ensayo carga-penetración de cada muestra. Si bien se moldearon tres probetas de cada muestra, inicialmente se ensayaron dos de ellas y se compararon los resultados obtenidos. Si estos no presentaban diferencias notables, se determinaba la curva promedio (caso de las muestras M 90/10 y M 65/35). Por el contrario, si las curvas obtenidas para las dos probetas ensayadas resultaban apreciablemente diferentes, se procedía a ensayar la tercera y luego se generabala curva promedio de los tres ensayos realizados (caso de las muestras M 100/0, M 80/20 y M 50/50).En todas las muestras ensayadas se aprecia que hasta al final del ensayo la tendencia de las curvas carga-penetración fue siempre ascendente; es decir, en ningún caso se alcanzó una condición donde se pudiera identificar un valor de carga máxima o próximo a dicha condición. Este es el comportamiento que cabe esperar en un estado tensional de relativo confinamiento, provisto por las paredes del molde y la carga superior de la pesa (4,54 kg).

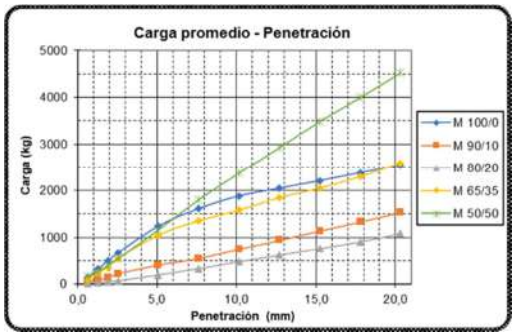


Figura 7. Curvas cargas promedio de las muestras estudiadas vs. penetración.

El análisis del efecto de un reemplazo de suelo por sal en proporciones crecientes sobre el comportamiento resistente de las mezclas estudiadas se efectuó comparando los valores de carga asociados a una penetración de 20,32 mm. Estos resultados se han representado en la curva carga-porcentaje de reemplazo de la Fig.8, donde se observa una importante disminución de la resistencia a la penetración, reflejada en la tendencia descendente de la curva, que se manifiesta hasta proporciones de reemplazo próximas al 18%. A partir de este punto la resistencia a la penetración comienza a crecer al mismo ritmo en que antes disminuía. La tendencia creciente se mantiene incluso hasta valores de reemplazo del 50% en volumen. Para un reemplazo de aproximadamente el 35%, casi el doble de la proporción para la que se obtuvo el umbral inferior de la resistencia a la penetración, la recuperación es total, alcanzando el mismo valor que el del suelo sin reemplazo. Este porcentaje de reemplazo podría considerarse recomendable si fuera exigible alcanzar en la mezcla suelo-sal la misma resistencia del suelo original.

Figura 8. Carga final vs. reemplazo de suelo por sal.

La tendencia de la Fig. 8 recuerda a la obtenida por You et al. (2017), aunque en esa oportunidad se estudió el comportamiento de un suelo salino de naturaleza coloidal, cuya particular respuesta, sobre todo en el primer tramo de la curva, es atribuible a fenómenos electroquímicos.

En la búsqueda bibliográfica no se han podido hallar otros antecedentes que permitan explicar el comportamiento observado en este trabajo, en el que se estudia un suelo fundamentalmente granular, con finos sin plasticidad. En un intento de explicar este comportamiento, el mismo sepodría atribuir al resultado de una superposición de dos efectos: el primero de ellos, dominante en el rango de reemplazos salinos 0%-18%, podría estar relacionado con una pérdida de fricción entre las partículas de suelo, producida por unainterferencia de los cristales de sal, éstos posiblemente con un ángulo de rozamiento menor que el propio del suelo sin reemplazo; el segundo efecto, preponderante para valores de reemplazo superiores al 18%, donde podría ocurrir que una mayor cristalización salina refuerce la estructura original del suelo.

La justificación del comportamiento observado requiere de una profundización del estudio realizado hasta aquí sobre este tipo de mezclas que se oriente a la determinación del ángulo de rozamiento de los dos materiales individualmente, por ejemplo, mediante ensayos de corte directo, y a la observación en el microscopio electrónico de la estructura de las distintas mezclasde suelo-sal analizadas.

Para verificar posibles pérdidas de humedad durante el periodo de almacenamiento, se controló dicha variable al finalizar cada ensayo, tomando una muestra de la zona donde se produjo la penetración del pistón. En la Fig.9 se aprecia que en todas las mezclas hubo una leve pérdida de humedad durante el tiempo de almacenamiento.

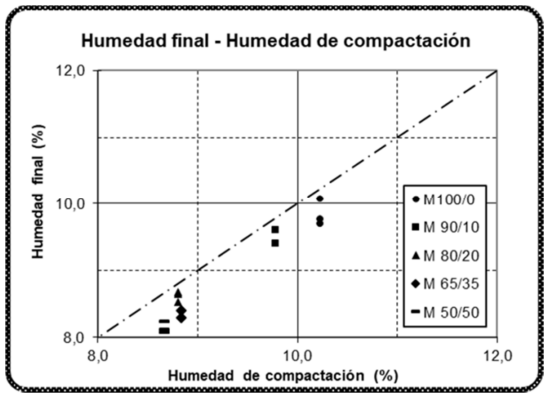


Figura 9. Comparación entre humedades de compactación y humedades al final de cada ensayo.

Las pérdidas de humedad ocurridas durante el período de almacenamiento oscilan entre el 0,2% y el 0,6% y no guardan relación con el nivel de reemplazo de suelo por sal. Por lo tanto, no se debería considerar que esta situación tiene efecto en la tendencia general de los resultados obtenidos.

6 CONCLUSIONES Y PROPUESTAS PARA FUTUROS TRABAJOS

A partir de los resultados de los ensayos de laboratorio realizados y del análisis e interpretación de la información obtenida, se pueden enunciar las siguientes conclusiones en relación con el comportamiento de las mezclas analizadas, elaboradas con el suelo y la sal procedentes de las minas de litio del Salar del Rincón:

- La humedad óptima disminuye al incrementar el reemplazo de suelo por sal.
- La densidad seca máxima se mantiene prácticamente constante e independiente del porcentaje de reemplazo.
- Los resultados del ensayo de carga-penetración no muestran diferencias significativas para probetas con un almacenamiento al aire libre respecto a un almacenamiento en ambiente controlado, ambos de 6 días de duración.
- La resistencia a la penetración de mezclas con reemplazo de suelo por sal en proporciones de hasta aproximadamente un 18%, en volumen, experimenta una sensible disminución respecto a la del suelo sin reemplazo. Para valores de reemplazo mayores al 18% la resistencia crece al mismo ritmo que antes disminuía, tendencia que se mantiene incluso hasta valores de reemplazo del 50%.
- Para un reemplazo de suelo por sal de aproximadamente el 35%, en volumen, casi el doble de la proporción para la cual ocurre el umbral inferior de la resistencia a la penetración, se recupera el valor del suelo sin reemplazo. Este porcentaje de reemplazo podría considerarse recomendable si fuera exigible alcanzar en la mezcla suelo-sal la misma resistencia del suelo original.
- Estos primeros resultados sugieren que las mezclas de suelo con sal podrían emplearse en la construcción de los terraplenes de cierre de las piletas de evaporación, generando una reducción en los costos asociados al transporte de los suelos desde las zonas de préstamos.
- El empleode un subproducto derivado de la obtención de litio en el proceso de producción permitiría disminuir el impacto de este tipo de explotaciones sobre el medioambiente.

Para complementar y ampliar los resultados obtenidos, se sugiere avanzar sobre las siguientes líneas de trabajo:

- Estudiar el comportamiento de mezclas de suelo-sal, con incorporación de la sal en forma de salmuera.
- Cuantificar la evolución de la resistencia a la penetración en función del tiempo de almacenamiento de las probetas.
- Estudiar mediante microscopía electrónica el proceso de cristalización de la sal en la estructura de suelos granulares.
- Valorar la resistencia de mezclas suelo-sal mediante otros tipos de ensayos mecánicos (ensayos de corte directo, de compresión triaxial, de compresión simple).

7 AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ing. Niederle de la Empresa CONEVIAL SRL la provisión de los materiales empleados en este trabajo.

8 REFERENCIAS

Bach Quiroz Alcántara, A. (2020).*Estabilización de suelos con cloruro de sodio, en el camino de bajo volumen de tránsito desde el caserío Los Tubos hasta el caserío Pozo Cuarenta, Distrito de Mórrope, Provincia de Lambayeque, Perú*. Facultad de Ingeniería Civil, Sistemas y Arquitectura, Universidad Nacional "Pedro Ruiz Gallo".

Cerna Montalvo, C. J. (2019).*Comportamiento de la subrasante en la carretera Huaraz – Unchus con adición de 10% y 20% de cloruro de sodio*. Facultad de Ingeniería, Universidad San Pedro. Chimbote, Perú.

Garnica Anguas, P., Pérez Salazar, A., Gómez López, J. A. y Yhaaraby Obil Veiza, E. (2002).*Estabilización de suelos con cloruro de sodio para su uso en las vías terrestres*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte.

Hinrichsen Triviños, N. N. (2005). *Estudio de comportamiento de suelo estabilizado con sal frente a la acción del agua, para distintas mezclas*. Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Austral de Chile.

Larrea Olivero, B. R. y Rivas Cajo, J. C. (2019).*Estabilización de suelos arcillosos con Cloruro de Sodio y Cloruro de Calcio*. Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.

Ramos Carreño, E. (2018).*Influencia del cloruro de sodio en las propiedades mecánicas del suelo granular de la cantera de Sencca – Poroy*.

Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Alas Peruanas. Cusco, Perú.

You, Z., Lai, Y. and Zhang, M. (2017).*Quantitative analysis for the effect of microstructure on the mechanical strength of frozen silty clay with different contents of sodium sulfate*. Environmental Earth Sciences.

Zhang, Z., Pan, Z. and Li, P. (2022).*Microstructural and mechanical effect of salt crystallization on remolded loess*. Environmental Earth Sciences.

Diseño óptimo de un esquema de simbiosis industrial en la provincia de Tucumán

Nishihara Hun, Andrea L.[1];Pérez, Gonzalo A.[2];Mele, Fernando D.[1,3]

(1) Departamento de Ingeniería de Procesos y Gestión Industrial, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán. anishihara@herrera.unt.edu.ar; fmele@herrera.unt.edu.ar

(2) Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) EEA Famaillá.

(3) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

RESUMEN

La economía de la provincia de Tucumán y del Noroeste Argentino (NOA) es básicamente agroindustrial. En Tucumán, las dos actividades productivas principales tienen su origen en el cultivo de la caña de azúcar y del limón, sectores constituidos por un conjunto de establecimientos industriales con sus dependencias pertenecientes a diferentes firmas. En este trabajo se plantea un modelo de programación matemática tipo mixto-entero lineal para planificar una simbiosis industrial (SInd) entre diferentes establecimientos fabriles con un criterio económico. El caso de estudio considerado contempla tres plantas productivas, dos relacionadas con la caña de azúcar (sucroalcoholera y papelera) y una derivada del limón. La materia prima utilizada en cada una de estas industrias permite obtener numerosos productos y desechos, con alto contenido de materia orgánica, que pueden usarse como fuentes de energía y materiales para intercambiar entre sí. En contraposición al caso de trabajar de forma desagregada, de la aplicación de la optimización propuesta surge que la conformación en simbiosis es económicamente mejor ya que se consigue, por ejemplo, un ahorro del 80% en los requerimientos de energía externa. Desarrollar este enfoque para el área de la industria basada en la biomasa es un importante aporte a la bioeconomía provincial.

Palabras claves: caña de azúcar – limón –papel – programación matemática – economía circular

ABSTRACT

The economy of the province of Tucumán and the Northwest of Argentina (NOA) is basically agro-industrial. In Tucumán, the two main productive activities have their origin in the cultivation of sugar cane and lemons, sectors constituted by a set of industrial establishments with their dependencies belonging to different firms. In this work, a linear mixed-integer mathematical programming model is proposed to plan an industrial symbiosis (SInd) between different manufacturing establishments with an economic criterion. The case study considers three production plants, two related to sugar cane (sugar-alcohol and paper) and one derived from lemon. The raw material used in each of these industries yields numerous products and wastes, with a high organic matter content, which can be used as energy and materials sources to exchange with each other. In contrast to the case of working in unbundled form, from the application of the proposed optimization it emerges that the conformation in symbiosis is economically better since it is achieved, for example, a saving of 80% in external energy requirements. Developing this approach for the area of biomass-based industry is an important contribution to the provincial bioeconomy.

Keywords*:* sugar cane – lemon –paper - mathematical programming – circular economy

1. INTRODUCCIÓN

Una economía circular es un sistema regenerativo en el que la entrada de recursos y la salida de desechos y emisiones, más las pérdidas de energía, se minimizan al disminuir los consumos y promover recirculaciones de materiales y energía. Esto se puede lograr a través del diseño, el mantenimiento, la reparación, la reutilización, la refabricación, la restauración y el reciclaje, haciendo un claro contraste con una economía lineal que es un modelo de producción de extraer, fabricar y disponer. Se trata de un modelo económico cuyos principales objetivos son: disminuir los residuos generados y minimizar el uso de recursos naturales, promoviendo las recirculaciones de materia y energía. Es en este punto en el que aparece la simbiosis industrial (SInd) como el factor activador de la economía circular. Mediante la SInd, las empresas independientes colaboran para compartir servicios y recursos a fin de reducir los desechos y los costos, aumentar ganancias y reducir el impacto ambiental (Laybourn y Morrissey, 2011) El concepto de SInd es análogo al de la cadena de suministro de lazo cerrado (*closed-loopsupplychain*), en el cual, la producción de una planta será la entrada para otras plantas, lo que mejora los beneficios ambientales y económicos mediante la reutilización eficiente de los recursos materiales y energéticos (Abdallahet al., 2012). En la práctica, el uso de la SInd en las operaciones productivas—utilizando y recuperando— hace que los recursos permanezcan activamente en la economía por más tiempo. Martin y Eklund (2011) sugieren que la SInd crea una "situación en la que todos ganan" entre las empresas asociadas, tanto desde el punto de vista ambiental como económico.

En general, la Argentina cuenta con abundantes recursos naturales, un sector agrícola eficiente, buenas infraestructuras para la producción, transformación y exportación, y un capital humano adecuado (Joseph, 2022). Sin embargo, desde hace unas décadas, ha aumentado la preocupación por la sustentabilidad de estas actividades productivas (Brundtland, 1987). Existe una conciencia creciente sobre el agotamiento de los recursos fósiles como así también el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), por lo que los combustibles renovables y el aprovechamiento integral de la biomasa han adquirido paulatinamente un mayor interés.

La economía de la provincia de Tucumán y del Noroeste Argentino (NOA) es básicamente agroindustrial. En Tucumán, las dos actividades productivas principales se basan en el cultivo e industrialización de la caña de azúcar y del limón. Cada uno de estos sectores está constituido por un conjunto de plantasfabriles con sus dependencias pertenecientes a diferentes firmas. Estas industrias que utilizan biomasa como materia prima tienen un gran potencial de aplicación de conceptos como SInddebido a la naturaleza renovable de la materia prima y a que los desechos (a menudo constituidos por materia orgánica) pueden usarse como fuentes de energía para abastecer esos mismos procesos. Por lo tanto, desarrollar un enfoque de SInd en el área de la industria basada en la biomasa será un importante aporte a la bioeconomía provincial.

En este trabajo se realizaron tareas de investigación y desarrollo para la implementación de estrategias de SInd, teniendo en cuenta simultáneamente aspectos técnicos y económicos. Específicamente, se trabajó en el desarrollo de un modelo de programación matemática de naturaleza mixto-entera lineal (MILP), para resolver la SInd entre un conjunto de plantas candidatas a trabajar integradamente.Con la aplicación de este modelo, lo que se busca es tener una herramienta de apoyo en la toma de decisiones estratégicas sobre el tejido productivo involucrado.

En el país, los antecedentes de estudios de análisis de casos de SIndusando enfoques de optimización no son abundantes. A nivel internacional puede mencionarse el trabajo de Gonela y Zhang (2014) que combina ambos conceptos, y el trabajo de Rigamonti y Mancini (2021), que es un ejemplo de relación entre economía circular, SInd e impacto ambiental.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La economía de la provincia de Tucumán depende fuertemente de dos agroindustrias: de la caña de azúcar y del limón. Estas industrias tienen potencial para hacerse más sustentables, tanto desde el punto de vista económico como ambiental (Machin et al., 2021) y social si se disponen a compartir recursos materiales y energéticos entre ellas (Nishihara et al., 2017). Esta mejora no es trivial en todos los aspectos

simultáneamente porlo que debe analizarse en cada caso. Es por ello que en este trabajo se propone diseñar un esquema de SInd entre tres plantas productivas, dos relacionadas con la cañade azúcar (sucroalcoholera y papelera) y una derivada del limón. El problema puede plantearse como sigue; dados tres establecimientos fabriles delas industrias antes mencionadas que trabajanseparadamente, se busca optimizar los flujos de materiales y energía de manera deobtener una estructuraque trabaje integradamente. En esteestudiola función-objetivo será económica para extenderse a los otrosaspectos en trabajos futuros(Nishihara y Mele, 2022).

3. MODELOMATEMÁTICO

Se propone la formulación de un modelo de programación matemática tipo MILP, para resolver el problema de SInd entre el conjunto de plantas industriales candidatas a trabajar integradamente. Este modelo permite determinar los flujos de materia y energía que pueden intercambiar estas diferentes industrias para disminuir costos o maximizar las ganancias.

El modelo matemático es muy intensivo en datos, ya que requiere una extensarecopilación de información sobre las industrias mencionadas referida a flujos de entrada/salida de materia y energía, rendimientos fabriles, como así también datos económicos de costos de operación y costos/precios de las diferentes materias primas, productos intermedios y productos finales.El modelo considera un conjunto de productos *i* (ej.: caña de azúcar, limón, azúcar blanco, etanol, jugo concentrado de limón, aceite esencial, cáscara deshidratada, papel, gas natural, etc.) y un conjunto de plantas *p* (ej.: ingenio, destilería de jugo de caña, destilería de melaza, planta citrícola, papelera, planta de cogeneración de energía eléctrica, etc.).

*Función objetivo.*Es la función *FO*que se quiere maximizar y queviene dada por los ingresos por las ventas de los productos ($Inputs$) menos los costos de producción ($CProd$) y las compras de materias primas ($Compras$), como se indica en la ecuación (1).

$$FO = Inputs - CProd - Compras \quad (1)$$

Las ventas dependen del precio de los productos ($Price_i$) y de las cantidades vendidas al mercado ($S_{i,p}$), ecuación (2).

$$Inputs = \sum_{i,p} Price_i S_{i,p} \quad (2)$$

A su vez, los costos de producción ($CProd$), ecuación (3), dependen del costo de producción unitario asociado al producto principal *i* de la planta *p* ($UPC_{i,p}$)y de las cantidades producidas ($X_{i,p}$).$IM(i,p)$ es el conjunto que relaciona cada planta *p* con su producto principal *i*.FC_p son los costros fijos de instalación de la planta *p* e Y_p es la variable binaria que vale 1 si *p* se instala y 0 en caso contrario.

$$CProd = \sum_{i \in IM(i,p),p} UPC_{i,p} X_{i,p} + \sum_p FC_p Y_p \quad (3)$$

Las compras son una función del precio de productos comprados a otras plantas*p'* ($PriceI_{i,p'}$), del precio de la materia prima comprada al mercado ($PriceRM_{i,p}$) y de sus cantidades, según la ecuación (4).

$$Compras = \sum_{i,p,p \neq p'} PriceI_{i,p'} Tr_{i,p',p} + \\ + \sum_{i,p} PriceRM_{i,p} RM_{i,p} \quad (4)$$

donde $Tr_{i,p',p}$ es la cantidad transportada del producto *i* de la planta *p'* a la planta *p*, y $RM_{i,p}$ es la cantidad de materia prima *i* comprada a la planta *p*.

La disponibilidad de materia prima que se produce en la etapa agrícola, las demandas de los productos y los balances de materia, entre otras, constituyen las restricciones de este problema.

Restricción de demanda. La cantidad vendida al mercado de un producto ($S_{i,p}$)tiene que ser inferior a la demanda de dicho producto (dem_i)en el mercado (ecuación 5).

$$\sum_p S_{i,p} \leq dem_i \quad \forall i \quad (5)$$

Balances de materia. Para representar la producción de los diferentes productos a partir de producto principal de una planta *p*, se usan las ecuaciones (6) y (7) (Mele et al., 2011).

$$XT_{i,p} = signo(F_{i,p})\, X_{i,p} \quad \forall i \in IM(i,p), p \quad (6)$$

$$X_{i,p} = \left|F_{i,p}\right| \sum_{i' \in IM(i',p)} X_{i',p} \quad \forall i,p \qquad (7)$$

$XT_{i,p}$ es la cantidad producida de i en p, positiva para productos y negativa para insumos, siendo $F_{i,p}$. el factor másico que relaciona un producto i con el producto principal de cada planta p.
Para los productos discretos (aquellos materiales que se pueden almacenar, i perteneciente al subconjunto de productos discretos $ID(i)$), la suma de la cantidad desechada ($W_{i,p}$,), la cantidad almacenada ($I_{i,p}$), la cantidad vendida al mercado ($S_{i,p}$) y la cantidad vendida a otras plantas$p$'($Tr_{i,p,p'}$)debe ser igual a la suma de la cantidad de materia prima comprada($RM_{i,p}$), ala cantidad de producto producido$XT_{i,p}$ y alcomprado a otras pantas($Tr_{i,p',p}$) (ecuación 6).

$$W_{i,p} + I_{i,p} + S_{i,p} + \sum_{q \neq p} Tr_{i,p,p'} = RM_{i,p} + \\ + XT_{i,p} + \sum_{p \neq p'} Tr_{i,p',p},\ \forall i \in ID(i), p \neq cogeneración \qquad (8)$$

Para los productos continuos (aquellos flujos que no se pueden almacenar, como ser la energía eléctrica), la ecuación de balance es similar, eliminándose el término de almacenamiento.
Los flujos de energía resultan de balances representados por las ecuaciones (9) a (12).La ecuación (9) representa la energía disponible por la combustión de RAC (residuo agrícola de caña) y de bagazo, donde PCI es el poder calorífico inferior medio de estos combustibles.

$$PCI \cdot (Tr_{RAC,campo,p} + Tr_{bagazo,molienda,p}) = \\ XT_{comb,p'} \quad p = cogeneración \qquad (9)$$

Las ecuaciones (10) y (11) representan la cantidad efectiva de RAC (RAC^{eff}) y bagazo ($BAGASSE^{eff}$) que se transporta a la planta de cogeneración, desde el campo o la molienda.

$$Tr_{i,p,p'} = RAC^{eff},\ i = RAC, p = campo, p' = \\ cogeneración \qquad (10)$$

$$Tr_{i,p,p'} = BAGASSE^{eff},\ i = bagazo, p = \\ molienda, p' = cogeneración \qquad (11)$$

Con la ecuación (12), se restringe la proporción de RAC en la mezcla combustible RAC-bagazo a valores menores al 25%.

$$RAC^{eff} \leq 0{,}25 \cdot BAGASSE^{eff} \qquad (12)$$

En el modelo matemático presentado se han tenido en cuenta aspectos técnicos y económicos, quedando como proyección futurasu ampliación a la consideración de aspectos ambientales.

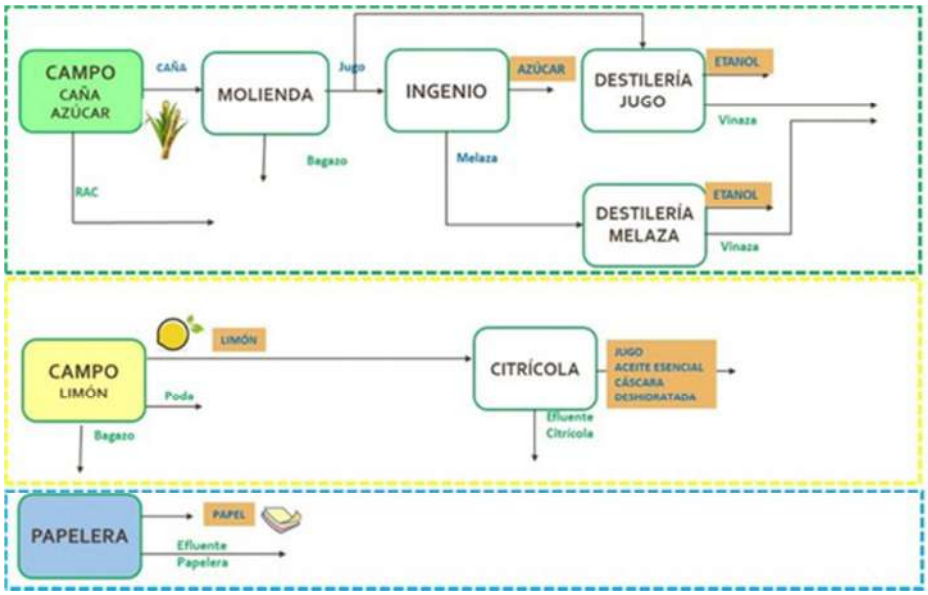


Figura 1: Esquema simplificado de las tres industrias operando de manera independiente, antes de la optimización.

4. CASO DE ESTUDIO

Como se mencionó anteriormente, las tres plantas productivas que se tienen en cuenta para ilustrar la propuesta son dos relacionadas con la caña de azúcar (sucroalcoholera y papelera) y otra relacionada con el limón (citrícola). La Fig.Figura *1* representa esquemáticamente estas tres plantas, las principales corrientes de entrada y salida para cada uno de los procesos, mientras que la Fig. 2 muestra los potenciales intercambios de materia y energía a determinar en la red de procesos involucrados. En la **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.**, a modo de ejemplo, se resumen las principales relaciones másicas y energéticas correspondientes a las entradas y salidas de algunos de los bloques considerados en el modelo, considerando siempre la realidad provincial de Tucumán.

Tabla 1:Resumen de entradas y salidas de las tres industrias consideradas.

Ingenio	Valor	Unidad
Entradas		
Jugo	101,23	t
Energía eléctrica	0,225	MWh
Salidas		
Azúcar	1	t
Melaza	4,25	t
Citrícola	Valor	Unidad
Entradas		
Limón	17,26	t
Energía eléctrica	1276	kWh
Agua	221,82	m^3
Salidas		
Jugo	1	t
Aceite esencial	0,079	t
Cáscara deshid.	0,99	t
Efluente	0,52	m^3
Papelera	Valor	Unidad
Entradas		
Bagazo	2,43	t
Energía eléctrica	557	kWh
Agua	31000	m^3
Salidas		
Papel	1	t
Licor negro	18	m^3

La caña de azúcar es un cultivo que se da principalmente en el Noroeste de la Argentina,

siendo Tucumán el principal productor nacional de caña de azúcar (CAA, 2023). La industrialización de este cultivo proporciona dos productos principalmente, el azúcar y el bioetanol, aportando la provincia a gran parte de la demanda nacional de estos productos. El azúcar se destina al mercado interno y a la industria de bebidas y alimentos, mientras que el bioetanol se utiliza en las mezclas con combustibles, regulados en la Argentina por la ley 26.093. Respecto de la industria sucroalcoholera (véase la Fig.Figura *1*), en el sector campo, el producto es la caña de azúcar y uno de los residuos que se genera es el residuo agrícola cañero (RAC). Por otra parte, en el sector ingenio, el producto principal es el azúcar y el residuo principal que se produce en la molienda de la caña es el bagazo (residuo lignocelulósico) mientras que en el sector destilería de alcohol el producto es el bioetanol, a la vez que se genera un efluente líquido llamado vinaza.

Por otra parte, como se observa en la misma figura, en la industria papelera, el bagazo constituye la materia prima para la obtención del papel y durante el proceso se genera un efluente líquido llamado licor negro.

Respecto de la industria de los cítricos, ésta es una de las industrias de procesamiento de frutas más importante del mundo. La Argentina es uno de los ocho mayores productores mundiales de limón (Federcitrus, 2021). En la cadena de valor del limón, la fruta se obtiene en el campo, y luego se obtienen productos industrializados en las plantas de procesamiento: aceite esencial, cáscara deshidratada y juego concentrado (USDA, 2021). En cuanto a los residuos con potencial energético en esta industria, se tienen los residuos de la poda de las plantaciones de limones y el efluente líquido de la citrícola.

Según lo expuesto, se han seleccionado las corrientes de biomasa residuales que poseen un potencial de intercambio de energía y de masa para ser aprovechada en el tejido productivo constituido por estas tres industrias. En el caso de la industria sucroalcoholera, se identifican en el sector de campo el RAC, en el sector industrial el bagazo y el efluente líquido generado en la producción de bioetanol (vinaza); para la industria citrícola, se identifican los residuos de la poda de los limoneros y el efluente líquido de la citrícola; mientras que, para la industria del papel, se considera el efluente líquido (licor negro).

Determinar la configuración óptima de la SInd para este conjunto de plantas candidatas a trabajar integradamente es el objetivo principal del modelo planteado, bajo ciertas restricciones, de manera de maximizar los beneficios económicos. La Fig. Figura *2*muestra el esquema de posibles intercambios (superestructura) a determinar mediante la optimización.

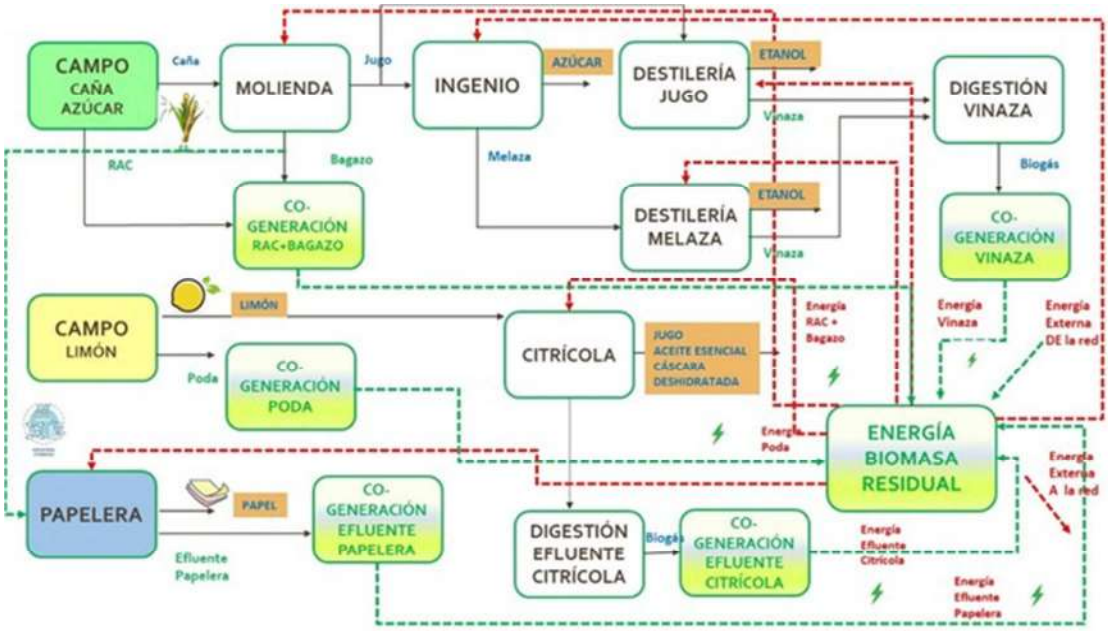


Figura 2: Esquema de los posibles intercambios de flujos de materia y energía en el tejido productivo.

Como herramienta de soporte a la optimización se ha utilizado el programa de modelado algebraico GAMS® con el *solver* CPLEX para MILP. Para esta red de instalaciones industriales, se consideran en todos los casos datos desde la obtención de la materia prima en el campo hasta la puerta del ingenio, destilería, citrícola y papelera, tomando en todos los casos valores promedio para la provincia de Tucumán (Citrus, 2021). El modelo se caracteriza por representar el balance de materia y energía para un único período (un año) quedando como proyección su extensión a una formulación multi-período. Se trata además de un modelo multi-materia-prima y multi-producto.

Una característica distintiva de este modelo es que ofrece la posibilidad de instalar tecnologías para producir biogás a partir de desechos líquidos (efluentes industriales) o para producir energía eléctrica a partir de residuos sólidos (materiales lignocelulósicos, como RAC, bagazo, residuos de poda), de manera tal de reducir el consumo de energía externa de las industrias. También este modelo indica el flujo de bagazo conveniente a abastecer a la planta productora de papel. Todas estas estrategias son una clara implementación de la economía circular en los sistemas industriales.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez resuelto el modelo de optimización, se obtiene, como parte de los resultados, cuáles son los intercambios más convenientes relacionados con la instalación de sistemas para producir biogás a partir de desechos líquidos (vinaza, licor negro o efluentes de la planta citrícola) o para producir energía eléctrica a partir de residuos sólidos (materiales lignocelulósicoscomo RAC, bagazo o residuos de poda de limoneros). Estas opciones se traducen en ahorros sobre el consumo de gas natural o de electricidad de la red externa en las plantas que conforman el tejido industrial.

Como puede observarse en la Figura 3 y en la Tabla 2, el modelo elige la producción de etanol por fermentación directa de jugo y no de melazas. Por otro lado, un 80% de los requerimientos energéticos de las industrias se satisface por cogeneración a partir de combustión de RAC y bagazo y del biogás generado por digestión de los residuos de la citrícola y la papelera. El resto se satisface con electricidad de la red. El modelo no elige ni fermentación de melazas, ni cogeneración a partir de biogás de vinazas ni de residuos de poda de limoneros.

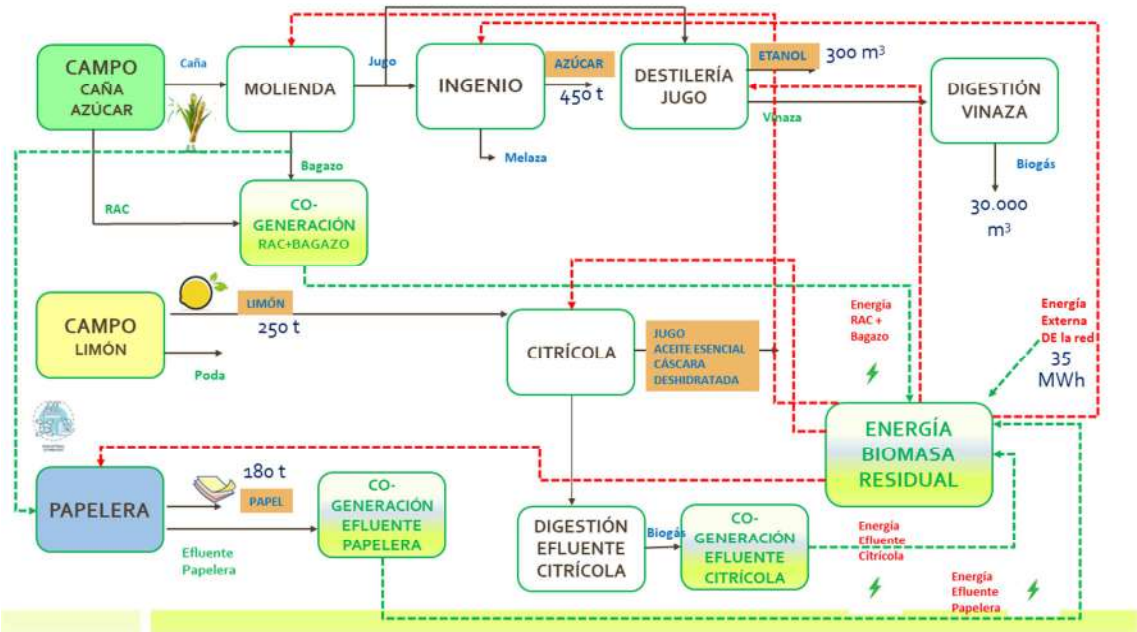


Figura 3: Resolución óptima de SInd para el caso de estudio. Los números sobre las corrientes representan los flujos de materia y energía resultantes.

En la solución óptima se satisfacen las demandas de azúcar (450 t), etanol (300 m^3) y aceite esencial de limón (2,5 t) mientras que las demandas del resto de los productos se mantienen entre un 40 y un 80% de cumplimiento. Esto tiene que ver con el esquema considerado de precios de los productos, lo cual influye en la función objetivo de beneficio.

Tabla 2: Flujos resultantes de la optimización del esquema productivo (SInd).

Producto	Valor	Unidad
Azúcar	450	t
Etanol	300	m^3
Biogás (vinaza)	30.000	m^3
Limón	250	t
Aceite esencial	2,5	t
Papel	180	t
Electricidad de la red	35	MWh

Desde el punto de vista ambiental, como puede inferirse, lo que se logra es la reducción en el consumo de recursos naturales (gas natural directo y electricidad proveniente de una matriz energética esencialmente fósil) y un buen aprovechamiento de las biomasas residuales que se generan en el proceso. No obstante, un análisis ambiental más completo queda como trabajo futuro.

6. CONCLUSIONES

En este trabajo se resuelve, a través de una formulación de optimización mono-objetivo, el esquema de SInd óptimo para tres plantas de diferentes industrias: sucroalcoholera, citrícola y papelera.

Se espera que los resultados obtenidos en este trabajo permitan hacer recomendaciones y propuestas para lograr la circularidad de la cadena productiva de las industrias regionales procurando también que conduzcan a mejoras no sólo económicas sino también ambientales.

Los resultados sugieren que la configuración del tejido productivo supera económicamente al de una operación independiente entre las diferentes instalaciones industriales (reducción del 80% de los requerimientos energéticos). El enfoque se puede extender a otras industrias instaladas en el mismo parque susceptibles de intercambiar flujos de materia y energía.

Como trabajo futuro, se abordará la optimización multi-objetivo, teniendo en cuenta no sólo aspectos económicos sino también ambientales, a través del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) (ISO 14040, 2006). El propósito de esta línea de investigación es siempre medir y comparar mediante ciertos indicadores ambientales, la diferencia que existe entre que cada industria trabaje aisladamente o que trabajen integradamente dentro de la región. Los esquemas integrados entre plantas/compañías a través de SInd aumentarán la competitividad de las empresas involucradas ampliando las perspectivas para el desarrollo social y el fortalecimiento de la economía regional.

Hasta ahora, en el país, y específicamente en Tucumán y el NOA, el establecimiento de SInd sobre la red productiva no se hace mediante la aplicación de herramientas sistemáticas y tampoco se han tenido en cuenta restricciones socio-ambientales en la toma de decisiones. Estos son los dos puntos innovadores fundamentales que persiguen este y futuros trabajos.

7. REFERENCIAS

Abdallah, T., Diabat, A., Simchi-Levi, D. (2012). Sustainable supply chain design: a closed-loop formulation and sensitivity analysis. *Production Planning & Control*, 23 (2/3), 120-133. https://doi.org/10.1080/09537287.2011.591622

Brundtland, G. (1987) Our Common Future: The World Commision on Environment and Development; Oxford University Press: Oxford.

Centro azucarero argentino (CAA). Recuperado el 13 de abril de 2023 de https://centroazucarero.com.ar/

Citrus: World Markets and Trade. July 2021. Recuperado el 07 de diciembre de 2022 de https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/citrus.pdf

Federcitrus, 2021. Argentine Citrus Federation. The Argentine citrus industry. Recuperado el 03 de octubre de 2022 de https://www.federcitrus.org/estadisticas

Gonela, V., Zhang, J. (2014). Design of the optimal industrial symbiosis system to improve bioethanol production. *Journal of cleaner production*, 64, 513-534. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.07.059

ISO 14040-14044 (2006). Gestión ambiental. Evaluación de Ciclo de Vida.

Joseph, K. USDA (2022). Report Name: Sugar Annual

Laybourn, P., Morrissey, M. (2009). The Pathway to a Low Carbon Sustainable Economy. Recuperado el 4 de diciembre de 2021 de http://www.nisp.org.uk/Publications/Pathway.pdf

Machin Ferrero, L.M., Araujo, P.Z., Nishihara Hun, A.L., Valdeón, D. H., Mele, F. D. (2021) Water footprint assessment of lemon and its derivatives in Argentina: a case study in the province of Tucumán. *International Journal Life Cycle Assessment*, 26, 1505-1519. http://dx.doi.org/10.1007/s11367-021-01939-5

Machin Ferrero, L.M., Araujo, P.Z., Valdeón, D. H., Nishihara Hun, A.L., Mele, F. D. (2021) Water footprint of lemon production in Argentina. *Science of the Total Environment*, 816, 151614. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151614

Martin, M., Eklund, M. (2011). Improving the environmental performance of biofuels with industrial symbiosis. *Biomass Bioenerg*., 5, 1747-1755. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.01.016

Mele, F. D., Kostin, A. M., Guillen-Gosalbez, G., Jiménez, L. (2011). Multiobjective model for more sustainable fuel supply chains. A case study of the sugar cane industry in Argentina. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50(9),4939-4958. https://doi.org/10.1021/ie101400g

Nishihara Hun, A. L., Mele, F. D., Pérez, G. A. (2017). A comparative life cycle assessment of the sugarcane value chain in the province of Tucumán (Argentina) considering different technology levels. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 22(4), 502-515. https://doi.org/10.1007/s11367-016-1047-3

Nishihara Hun, A. L.; Mele, F. D. (2022). Estrategias de simbiosis industrial para la industria sucroalcoholera. X Encuentro Argentino de Ciclo de Vida, IX Encuentro de la Red Argentina de Huella Hídrica, ENARCIV 2022, 3-4 de noviembre de 2022, Córdoba, Argentina

Rigamonti, L., & Mancini, E. (2021). Life cycle assessment and circularity indicators. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 26(10), 1937-1942. https://doi.org/10.1007/s11367-021-01966-2

USDA 2021. United States department of agriculture. ForeignAgriculturalService. Recuperado en Mayo de 2021 de https://www.fas.usda.gov/data/argentina-citrus-annual-5

Desarrollo de funciones en MATLAB para diseño de filtros FIR óptimos de ranuras múltiples empleando el algoritmo de Remez

Pacheco, Fabián E.[1]; Pérez, Jorge O.[1]

(1) Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán.

fpacheco@herrera.unt.edu.ar; jperez@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN

En este trabajo se presenta el desarrollo de funciones en MATLAB para el diseño de filtros digitales con respuesta finita al impulso (FIR) de ranuras múltiples, de fase lineal, utilizando la técnica de diseño óptimo basado en el algoritmo de intercambio de Remez. Se presenta un ejemplo de diseño y un gráfico de utilidad para la estimación del orden necesario en función del ancho de banda y la ondulaciónen la zona de paso.

ABSTRACT

This paper presents the development of functions in MATLAB for designing linear phase equiripple FIR (finite impulse response) multiple notch filters, using the optimal design technique based on the Remez exchange algorithm. An example of design and a graph useful in estimating the necessary order as a function of bandwidth and ripple in the pass band are presented.

Palabras claves: FIR – ranura – MATLAB - Remez

Keywords: FIR – notch – MATLAB - Remez

1. INTRODUCCIÓN

Un filtro ranura es un dispositivo que eliminade la señal de entrada una componente particular de frecuencia, sin modificar las otras componentes de frecuencia. La figura 1 muestra el módulo de la función de transferencia $|H_{(f)}|$ de un filtro ranura, donde $f_N$es la frecuencia de la ranura y AB es el ancho de banda, determinado por los puntos de media potencia.

Se busca que el filtro tenga un ancho de banda estrecho y que no distorsione la señal. Un filtro ranura ideal es de fase lineal, tiene ancho de banda nulo, la amplitud en la zona de paso es uno (0 dB) y en la frecuencia de la ranura es cero (atenuación infinita).

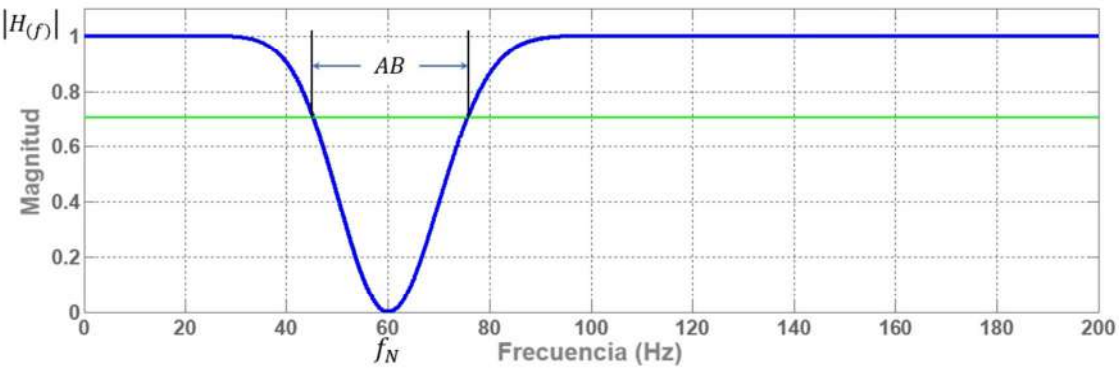


Figura 1: Módulo de la respuesta en frecuencia de un filtro ranura.

Para implementar un filtro ranura, el filtro digital FIR presenta las ventajas de poder diseñarse con fase lineal exacta, de ser siempre estable y tener bajo ruido a la salida, la desventaja es que tiene un orden elevado.
En MATLAB se dispone de la función *fdesign.notch,* que devuelve las especificaciones para el diseño de un filtro ranura recursivos (IIR), pero no se dispone de una función para el diseño de filtros ranuras no recursivos (FIR). En el presente trabajo se presenta el desarrollo de funciones en MATLAB para el diseño de filtros ranuras FIR óptimos defase lineal.

1.1 *Filtro FIR ranura de fase lineal*

El diseño de filtros FIRranurafue analizado por Yu (1990), donde se adaptanal diseño de filtros ranura las técnicas que habían sido desarrolladas para el diseño de filtros FIRde fase lineal selectivos en bandas: pasa bajos, pasa altos, pasa banda, bloqueo banda.En el trabajo mencionado los autoresconsideran, entre otras técnicas,la del diseño óptimo, basado en el algoritmo de intercambio de Remez. En esta técnica se minimiza, en un conjunto determinado de bandas, el máximo error absoluto de la respuesta en frecuencia del filtro diseñado, respecto al filtro ideal. Entre las posibilidades para la aplicación de esta técnica consideran el sistema compuesto por un prefiltro y un ecualizador, conectados en cascada, que se muestra en la figura 2. En esta configuración el prefiltro asegura una atenuación infinita en la frecuencia ranura y el ecualizador se diseña para que la amplitud de la respuesta del sistema en las zonas de paso se aproxime a la unidad y sea equiripple.

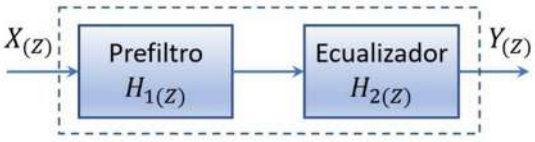


Figura 2: sistema compuesto por un prefiltro y un ecualizador, conectados en cascada.

En el presente trabajo se usa la configuración de la figura 2, enel diseño delprefiltrose establece un cero de segundo orden en cada una las frecuencias de las ranuras; en el diseño del ecualizador se utiliza la función de MATLAB*firpm*, para lo cual se desarrolló la función *notchandler*que se pasa como parámetro cuando se llama a la función *firpm*.

2 DISEÑO DE FILTRO FIR DE FASE LINEAL SELECTIVO EN BANDAS

2.1 *Tipos de filtros FIR de fase lineal*

La condición de fase lineal impone restricciones a la respuesta al impulso$h_{[n]}$ del filtro. Se considera que el orden del filtro es N, por lo tanto, la duración de la respuesta al impulso del filtro será $L = N + 1$. Se tienen cuatro tipos de filtros FIR de fase lineal, según N sea par o impar y la respuesta al impulso del filtro sea simétrica o antisimétrica. En la respuesta al impulso simétrica $h_{[n]} = h_{[N-n]}$,en la antisimétrica$h_{[n]} = -h_{[N-n]}$, para $0 \leq n \leq N$. Algunos tipos de filtros presentan restricciones respecto a la función de transferencia que se puedeimplementar. En la tabla 1 se presentan las características de los cuatro tipos de filtros. Con Ω se hace referencia a la frecuencia digital, $\Omega = 2\pi\frac{f}{f_s}$, donde f_s es la frecuencia de muestreo, siendo $0 \leq \Omega \leq \pi$el intervalo de valores de interés.

Tabla 1. Tipos de filtros FIR de fase lineal.

Tipo	Orden	Respuesta al impulso	Restricción $\Omega = 0$	Restricción $\Omega = \pi$
I	Par	Simétrica	No	No
II	Impar	Simétrica	No	$\lvert H\rvert = 0$
III	Par	Antisi-métrica	$\lvert H\rvert = 0$	$\lvert H\rvert = 0$
IV	Impar	Antisi-métrica	$\lvert H\rvert = 0$	No

En la implementación utilizada se emplea un filtro tipo I, orden par, con respuesta al impulso simétrica, es el adecuado para implementar un filtro ranura dado que debe tener ganancia 1 para $\Omega = 0$ y para $\Omega = \pi$.
El orden del filtro está dado por:

$$N = 2M \quad (1)$$

Dado que la respuesta al impulso del filtro es simétrica se tiene que:

$$h_{[n]} = h_{[N-n]}\ para\ 0 \leq n < M \quad (2)$$

La respuesta en frecuencia de un filtro FIR está dada por:

$$H_{(\Omega)} = \sum_{n=0}^{N} h_{[n]} e^{-jn\Omega} \quad (3)$$

Para un filtro FIR tipo I se tiene que:

$$H_{(\Omega)} = e^{-jM\Omega} A_{(\Omega)} \quad (4)$$

Donde $A_{(\Omega)}$ es la función amplitud de la respuesta en frecuencia, que para el filtro tipo I está dada por:

$$A_{(\Omega)} = \sum_{m=0}^{M} a_{[m]} cos(m\Omega) \quad (5)$$

Donde:

$$a_{[m]} = \begin{cases} 2h_{[M+m]} & para\ 1 \le m \le M \\ h_{[M]} & para\ m = 0 \end{cases} \quad (6)$$

Para el filtro FIR de tipo I, la función amplitud es una función par que toma valores reales y caracteriza completamente al filtro, por lo que el problema de diseño del filtro consiste en encontrar los $M + 1$ coeficientes $a_{[m]}$.

2.2 *Diseño óptimo de filtros selectivos en bandas utilizando el algoritmo de Remez*

La función error ponderado está dada por:

$$E_{(\Omega)} = W_{(\Omega)}\left(A_{(\Omega)} - D_{(\Omega)}\right) \quad (7)$$

Donde:

$A_{(\Omega)}$es la función amplitud del filtro diseñado.

$D_{(\Omega)}$es la función amplitud deseada.

$W_{(\Omega)}$es una función no negativa de ponderación del error.

En el diseño óptimo se minimiza el máximo error absoluto de la función error ponderado.

$$max_{\Omega \epsilon [0,\pi]} \left|E_{(\Omega)}\right| \quad (8)$$

En la publicación de McClellan (1973)se presentó un programa que utiliza el algoritmo de intercambio de Remez para el diseño de filtros FIR. El algoritmo de Remez utiliza el teorema de la alternancia, que establece que si $A_{(\Omega)}$ está dada por (5) entonces una condición necesaria y suficiente para que el conjunto de M+1 coeficientes $a_{[m]}$ sea solución al problema de la optimización es que existan al menos $R = M + 2$ frecuencias $0 \le \Omega_1 < \Omega_2 < \cdots < \Omega_R \le \pi$ para las cuales $\left|E_{(\Omega)}\right|$ alcance el valor máximo y que para valores consecutivos de Ω_j alterne el signo de $E_{(\Omega)}$. En consecuencia, la función de error absoluto ponderado de la solución óptima tiene un comportamiento equiripple, se denomina δ al valor máximo que alcanza el ripple.El valor de δ depende del orden del filtro,al aumentar N disminuye δ, el valor del orden depende también de la zona de transición entre las bandas de paso y de bloqueo, al reducirse la zona de transición aumenta el orden.

2.3 *Ejemplo de diseño de un filtro pasa banda en MATLAB utilizando la función firpm*

La función de MATLAB para el diseño de filtros FIR óptimos selectivos en banda es *firpm*. Se presenta un ejemplo de diseño utilizando esta función, las características del filtro son las siguientes:

- orden $N = 40$
- frecuencia de muestro $f_s = 8\ Khz$
- frecuencia de bloqueo inferior $f_{b1} = 800\ Hz$
- frecuencia de paso inferior $f_{p1} = 1000\ Hz$,
- frecuencia de paso superior $f_{p2} = 2000\ Hz$
- frecuencia de bloqueo superior $f_{b2} = 2200\ Hz$
- elripple en la zona de pasoes la mitad que en la zona de bloqueo.

Para el diseño de filtros selectivos en banda la función *firpm* se llama con la siguiente sintaxis:

b = firpm(n,f,a,w)

Los parámetros que se pasan a la función son:

- *n* es el orden del filtro, se puede obtener un valor aproximado con la función *firpmord*.
- *f* es un vector con las frecuencias límites de cada una de las bandas, las frecuencias deben estar en orden creciente. Se debe pasar los valores normalizados, relativos a la frecuencia de Nyquist; especificados en el rango entre 0 y 1, donde 1 corresponde a la frecuencia de Nyquist.
- *a* es un vector que contiene las amplitudes deseadas en las frecuencias especificados en f, normalmente son 1 para las bandas de paso y 0 para las de bloqueo
- *w* es un vector conteniendo el peso para la ponderación del error para cada banda, el valor del ripple en cada banda guarda relación inversa con los pesos de ponderación.

En el vector *b* devuelve los coeficientes del filtro.

El código de Matlb para diseñar el filtro del ejemplo es:

```
N=40                % Orden delfiltro
fs=8000;            % frecuencia de muestreo
f=[0 800 1000 2000 2200fs/2];      % frecuencias
D=[0 0 1 1 0 0];    % función amplitud deseada.
w=[1 2 1];          % pesos
b=firpm(N, f/(fs/2),D, w);
```

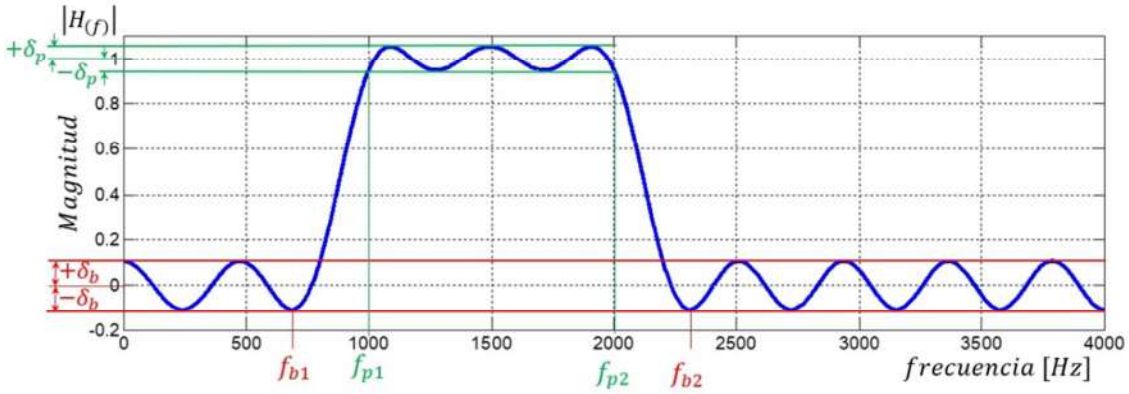


Figura 3: Función amplitud de la respuesta en frecuencia del filtro pasa banda del ejemplo.

En la figura 3 se representa la función amplitud del filtro diseñado.

2.4 *El algoritmo de intercambio de Remez*

Selesnick (2018) en sus notas de clase desarrolla el método de diseño óptimo y la implementación del algoritmo de Parks y McClellan en MATLAB, además del diseño de filtros selectivos en banda considera también el diseño de filtro ranura para el cual considera el sistema de la figura 2, que consiste en un prefiltro conectado en cascada con un ecualizador.

$$\begin{bmatrix} 1 & cos\Omega_1 \dots & cosM.\Omega_1 & 1/W_{(\Omega_1)} \\ 1 & cos\Omega_2 \dots & cosM.\Omega_2 & -1/W_{(\Omega_2)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & cos\Omega_{R-1} \dots & cosM.\Omega_{R-1} & 1/W_{(\Omega_{R-1})} \\ 1 & cos\Omega_R \dots & cosM.\Omega_R & -1/W_{(\Omega_R)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{(0)} \\ a_{(1)} \\ \dots \\ a_{(M)} \\ \delta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{(\Omega_1)} \\ D_{(\Omega_2)} \\ \dots \\ D_{(\Omega_{R-1})} \\ D_{(\Omega_R)} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Comienza resolviendo el sistema dado en (9) para un conjunto de frecuencias de referencia fijado arbitrariamente, pueden ser R valores uniformemente espaciados entre 0 y π, excluyendo las zonas de transición entre las bandas. La función amplitud de la respuesta en frecuencia del filtro FIR encontrado tendrá una función de error absoluto ponderado que contendrá al menos *R* frecuencias para las cuales el error absoluto iguale o supere al valor de δencontrado y tengan signos alternados. Se reemplaza el conjunto original de frecuencias de referencia por este nuevo conjunto de frecuencias y se comienza una nueva iteración. La convergencia ocurre cuando $\left|\frac{E_{(\Omega_k)}-\delta_k}{E_{(\Omega_k)}}\right| < \varepsilon$, donde ε es un número pequeño que indica la precisión numérica deseada.

Si fuera conocido el conjunto de frecuencias para las cuales el error absoluto ponderado alcanza los valores extremos dados por el teorema de alternancia, entonces la solución podría encontrarse resolviendo el sistema de R ecuaciones lineales dado en (9), donde δ se suma como incógnita a los M+1 coeficientes.
Por lo tanto, si se encuentra este conjunto de frecuencias se obtienen los coeficientes del filtro óptimo y el valor del ripple correspondiente. Para llegar a la solución el algoritmo de intercambio de Remez procede en forma iterativa.

3 DISEÑO ÓPTIMO DE FILTRO FIR RANURA DE FASE LINEAL

3.1 *Diseño del prefiltro*

La función de transferencia del sistema implementado, que se presenta en la figura 2, está dada por:

$H_{(Z)} = H_{1(Z)}H_{2(Z)}(10)$

Donde $H_{1(Z)}$ es la función de transferencia del prefiltro y $H_{2(Z)}$ la del ecualizador.

La función de transferencia del prefiltro consiste en un cero de orden dos en cada una de las frecuencias de ranura, de modo que$H_{1(Z)}$ está dada por:

$$H_{1(Z)} = \prod_{k=1}^{K}[1 - 2cos(\Omega_{Nk})Z^{-1} + Z^{-2}]^2 \quad (11)$$

Donde Ω_{Nk} es la frecuencia digital de la $k_{ésima}$ ranura, $0 < \Omega_{Nk} < \pi$, y Kes el número de ranuras.

$$H_{1(Z)} = \prod_{k=1}^{K}[1 - 4cos(\Omega_{Nk})Z^{-1} + \left(2 + 4cos^2(\Omega_{Nk})\right)Z^{-2} - 4cos(\Omega_{Nk})Z^{-3} + Z^{-4}] \quad (12)$$

El orden de $H_{1(Z)}$ está dado por:

$$N_1 = 4K \quad (13)$$

La función amplitud de la respuesta en frecuencia del prefiltro está dada por:

$$A_{1(\Omega)} = \prod_{k=1}^{K}[2 + 4cos^2(\Omega_{Nk}) - 8cos(\Omega_{Nk})cos(\Omega) + 2cos(2\Omega)] \quad (14)$$

3.2 *Diseño del ecualizador*

Una vez definida la función de transferencia del prefiltro, se debe diseñar el ecualizador para que el sistema tenga en las zonas de paso una ganancia aproximadamente igual a uno y sea equiripple.

El error absoluto ponderado del sistema de la figura 2 está dado por

$$E_{(\Omega)} = W_{(\Omega)}\left(A_{1(\Omega)}A_{2(\Omega)} - D_{(\Omega)}\right) \quad (15)$$

De modo que:

$$E_{(\Omega)} = W_{(\Omega)}A_{1(\Omega)}\left(A_{2(\Omega)} - \frac{D_{(\Omega)}}{A_{1(\Omega)}}\right) \quad (16)$$

Comparando la expresión dada en 16 con la dada en 7, se concluye que el problema del diseñodel ecualizador se puede reformular expresando el error absoluto ponderado como:

$$E_{(\Omega)} = W'_{(\Omega)}\left(A_{2(\Omega)} - D'_{(\Omega)}\right) \quad (17)$$

Donde:

$$D'_{(\Omega)} = \frac{D_{(\Omega)}}{A_{1(\Omega)}} \quad (18)$$

$$W'_{(\Omega)} = A_{1(\Omega)}W_{(\Omega)} \quad (19)$$

Por lo tanto, para realizar el diseño óptimo del ecualizador se debe modificar la función amplitud deseada yla ponderación del error, afectándolas por la función amplitud de la respuesta en frecuencia del prefiltro como se indica en (18) y (19).

3.3 *Implementación del diseño del filtro ranura FIR en MATLAB*

Para el diseño del filtro ranura FIR de fase lineal óptimo se desarrollaron tres funciones en MATLAB: *freqnotch, notchandler y firamplitude*. En MATLAB se puede llamar una función con distintas cantidades de parámetros, o con parámetros de distinto tipo. Por ejemplo, si al llamar a la función *firpm* no se pasan las ponderaciones del error absoluto de cada banda, se asume que el valor de δ será el mismo en todas las bandas.La función *firpm* tiene la opción de pasar como parámetro una función handle, *fresp*, que es empleada para determinar la amplitud y la ponderación de error absoluto deseada en cadauna de las frecuencias de la grilla usada en el proceso iterativo por el algoritmo de Remez.En este caso el llamado de la función *firpm* se hace con la siguiente sintaxis:

b = firpm(n,f,@fresp,w)

Puede observarse que, a diferencia del diseño de un filtro selectivo en banda, en este caso no se pasa la amplitud deseada en cada banda, en su lugar la función *firpm* llama a la función*fresp* para calcular la amplitud deseada y la ponderación del error absoluto en cada frecuencia de la grilla.

La función*fresp* es llamada desde *firpm* con la siguiente sintaxis:

[dh,dw] = fresp(n,f,gf,w)

La función *firpm* pasa cuatro parámetros:

- *n* es el orden del filtro.
- *f* es un vector con las frecuencias límites de cada una de las bandas, valores normalizados, relativos a la frecuencia de Nyquist.
- *gf* es el vector de frecuencias, o grilla, en la que debe evaluarse la función amplitud delfiltro. Son valores normalizados, relativos a la frecuencia de Nyquist.
- *w* es el peso de cada banda utilizado para la ponderación del error.

La función *fresp* devuelve dos vectores:

- *dh*contiene un vector con los valores de amplitud deseada correspondientes a cada frecuencia de la grilla *gf* pasada como parámetro.
- *dw*contiene la ponderación del error absoluto para cada frecuencia de la grilla *gf* pasada como parámetro.

Para el diseño del ecualizador los vectores *dh* y *dw*devueltos, que se emplean en la solución del sistema de ecuaciones dado en(9), deben corresponderse con las ecuaciones (18) y (19); para lo cual se evalúa la función amplitud del prefiltro en cada una de las frecuencias de la grilla *gf*pasada como parámetro.

Se desarrolló en MATLAB la función *notchandler* que se utiliza tanto para el diseño del prefiltro comopara ser llamada como *fresp*por la función *firpm*, La función *notchandler* hace uso de la variable persistente*b*. Según sea el valor de la variable persistente *b* es la función que cumple, si $b = 0$ diseña el prefiltro y guarda en la variable persistente b un vector con los valores de los coeficientes del prefiltro, cuando es llamada por la función *firpm*, debe ser$b \neq 0$, entonces calcula laamplitud deseada y la ponderación del error absoluto para el diseño del ecualizador. La variable persistente se inicializa, haciendo $b = 0$, llamando a la función *notchandler* sin parámetros, con la sintaxis:

nothandler()

Para el cálculo de la función de amplitud del prefiltro se desarrolló la función *firamplitude*, que hace uso de polinomios de Chebyshev para realizar en forma eficiente el cálculo.Los polinomios de Chebyshev son una familia de polinomios ortogonales, están definidos de forma recursiva:

$T_{_0(x)} = 1$

$T_{_1(x)} = x$

$$T_{_n+1(x)} = 2xT_{_n(x)} - T_{_n-1(x)} \quad (20)$$

La variable independiente x varía en el rango $[-1,1]$.

También están definidos por la identidad trigonométrica:

$$T_{_n(x)} = cos\left(n.arccos(x)\right) \quad (21)$$

Por lo tanto:

$$T_{_n(cos(\theta))} = cos(n\theta) \quad (22)$$

Puede observarse que la expresión (22) se corresponde directamente con la expresión (5) que da la función amplitud del filtro FIR tipo I.

El diseño del prefiltro se hace llamando a la función *notchandler*con la siguiente sintaxis:

[dh,dw]=notchandler(N,fnotch)

Solo se le pasan dos parámetros:

- *N* es el orden del filtro ranura a diseñar.
- *fnotch*es un vector con las frecuencias de las ranuras, expresadas por su valor relativo respectoa la frecuencia de Nyquist, deben estar en orden creciente. Puede obtenerse utilizando la función *freqnotch*.

En este caso los valores devueltos por la función son:

- *dh* es un vector con los valores de los coeficientes del prefiltro, el mismo vector que se salva en la variable persistente *b*.
- *dw* contiene el valor de N_2, el orden que queda disponible para el diseño del ecualizador.

El orden pasado como parámetro corresponde al orden del sistema, está dado por:

$$N = N_1 + N_2 \quad (23)$$

Donde N_1es el orden del prefiltro y N_2 del ecualizador, siendo;

$$N_1 = 4K \quad (24)$$

Donde K es la cantidad de ranuras.

El valor devuelto está dado por:

$$N_2 = N - 4K \quad (25)$$

El diseño del ecualizador se hace llamando a la función "*firpm*" con la sintaxis:

b = firpm(N_2,fband,@notchandler,w)

donde los parámetros pasados son:

- N_2es el orden de la función de transferencia del ecualizador, el valor deN_2se obtiene al hacer el diseño del prefiltro.
- *fband*es un vector con las frecuencias límites de cada una de las bandas, valores normalizados, relativos a la frecuencia de Nyquist, puede obtenerse utilizando la función freqnotch.
- *w* es el peso de cada banda utilizado para la ponderación del error.

La función *freqnotch*se llama con la siguiente sintaxis:

[fnotchfband]=freqnotch(fn,BW,fs)

Recibe tres parámetros:

- *fn* es un vector con las frecuencias en Hertz de las ranuras, deben estar en orden creciente.
- *BW* es elancho de banda de las ranuras.
- *fs*es la frecuencia de muestreo.

La función devuelve dos vectores:

- *fnotch* con las frecuencias normalizadas de las ranuras, adecuado para llamar a la función *notchandler* para el diseño del prefiltro.
- *fband*con las frecuencias normalizadas de las bandas de paso, adecuado para llamar a la función *firpm* para el diseño del ecualizador.

La función *freqnotch*verifica la consistencia de los parámetros pasados, en caso de error devuelve para cada vector el valor cero, 'false'.

3.4 *Ejemplo de diseño de un filtro con dos ranuras en MATLAB utilizando las funciones firpm y notchandler*

Las características del filtro son las siguientes:

- Orden: N=200
- frecuencias de las ranuras: 50 Hz y 100 Hz.
- Ancho de banda: 5 Hz.
- Frecuencia de muestreo: 400 Hz
- El ripple para las frecuencias superiores a la segunda ranura es el doble que en las frecuencias inferiores.

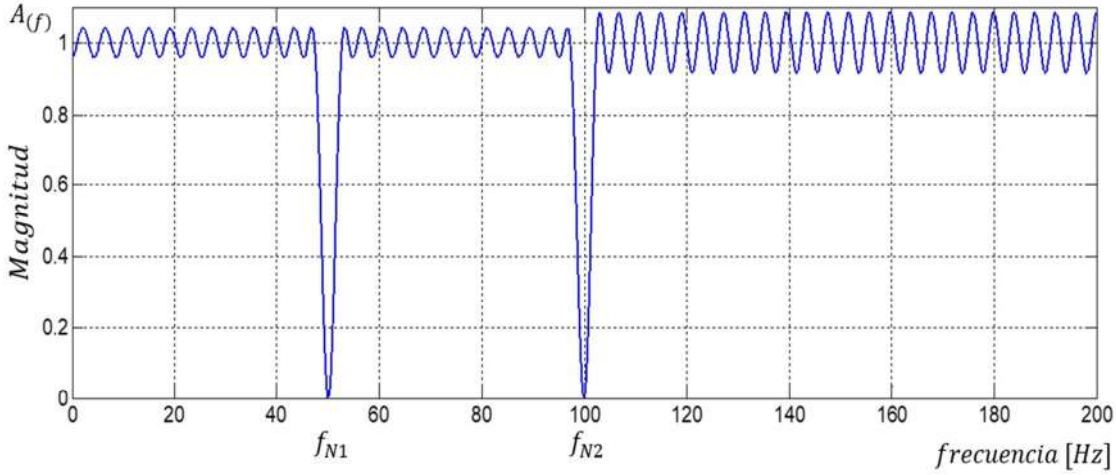


Figura 4: Función amplitud del filtro ranura diseñado.

El código de Matlb para diseñar el filtro del ejemplo es:

```
N=200   % orden (debe ser par)
fs=400;          % frecuencia de muestreo
fn=[50 100];     % frecuencias de ranuras
BW=5;            % ancho de banda
w=[2 2 1];       % peso de cada banda.
notchandler();   % inicializaelproceso
[fnotchfband]=freqnotch(fn,BW,fs);
[prefilter N2]=notchandler(N,fnotch);
equalizer=firpm(N2,fband,@notchandler,w);
b=conv(prefilter,equalizer);
```

En la figura 4 se muestra la función de amplitud del filtro ranura diseñado, en la figura 5 la del prefiltro y en la 6 la del ecualizador.

Para un orden dado existe una relación de compromiso entre los valores del ancho de banda y del ripple, a menor ancho de banda corresponde mayor ripple. En la figura 7se presenta la relación ripple versus ancho de banda para distintos órdenes, para un filtro con una sola ranura. Estas curvas corresponden a los datos obtenidos de una serie de diseños realizados en forma sistematizada

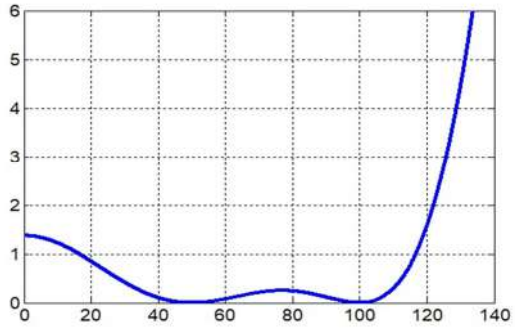


Figura 5: Función amplitud del prefiltro.

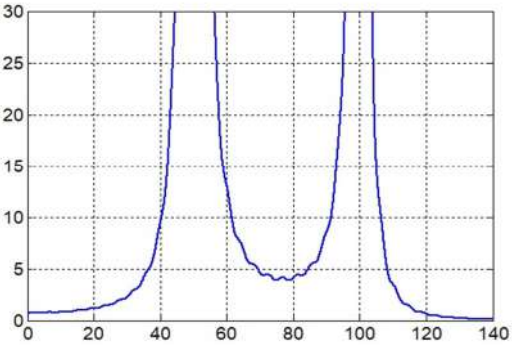


Figura 6: Función amplitud del ecualizador.

3.5 *Código de las funciones desarrolladas*

Función*freqnotch*

```
%
function [fnotchfband]=freqnotch(fn,BW,fs)
fnotch(1)=0;
fband(1)=0;
if nargin< 3
   return
end
L=length(fn);
if fn(1)-BW/2 <=0
   return
end
for n=2:L
   if fn(n)-fn(n-1)-BW <=0
      return
end
end
if fs/2-fn(L)-BW/2 <=0}
   return
end
for m=1:L
fband(2*m)=fn(m)/fs*2-BW/fs;
fband(2*m+1)=fn(m)/fs*2+BW/fs;
end
fband(2*L+2)=1;
fnotch=fn/fs*2;
return
```

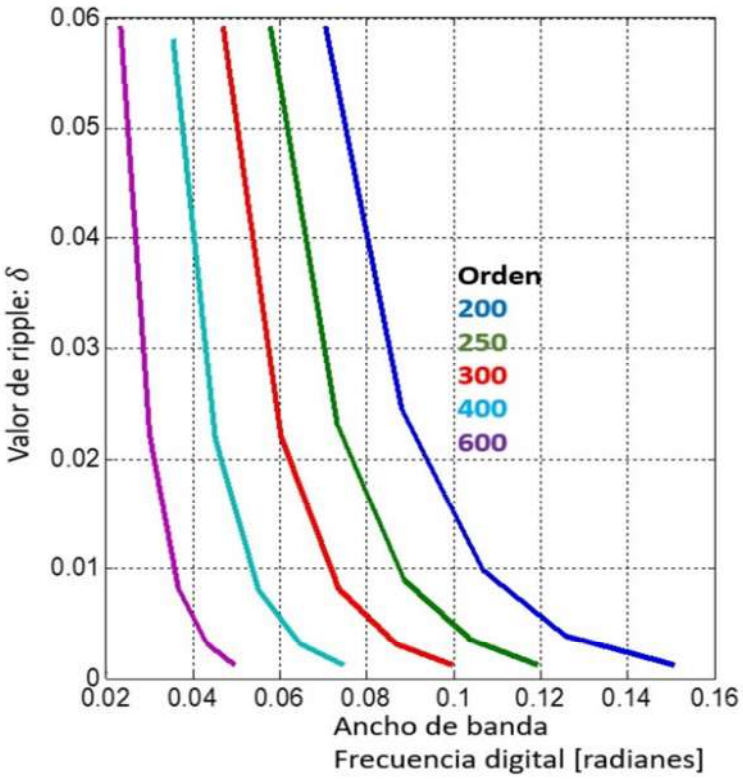


Figura 7: Ripple versus ancho de banda para distintos órdenes.

Función*notchandler*

```
%
function [dh,dw] = notchandler(N,f,gf,w)
persistent b
if nargin==0        % inicializa b
b=0;
return
end
if b==0  % Diseñaprefiltro
b=1;
dw=N;
   M=length(f);
   for m=1:M
a=[1 -2*cos(f(m)*pi) 1];
      b=conv(a,b);
b=conv(a,b);
dw=dw-4;
end
```

```
dh=b;
else                % Llamada por firpm
   M=length(f)/2; % cantidad de bandas de paso
L=length(gf);
prefilamp=firamplitude(b,gf);
   for m=1:M
      for k=1:L
         if (gf(k)>=f(2*m-1) && gf(k)<=f(2*m))
            dh(k)=1/abs(prefilamp(k));
dw(k)=w(m)*abs(prefilamp(k));
         end
      end
   end
end
end
%
Función firamplitude
%
function A = firamplitude(b,frec)
L=length(b);
K=length(frec);
if L>=1
   R=(L+1)/2;
   for k=1:K
      P=R;
      PCh2=1;
      A(k)=b(P);
      if P<L
P=P+1;
x=cos(frec(k)*pi);
PCh1=x;
         A(k)=A(k)+2*b(P)*PCh1;
end
      while P<L
         P=P+1;
PCh=2*x*PCh1-PCh2;
         PCh2=PCh1;
         PCh1=PCh;
         A(k)=A(k)+2*b(P)*PCh;
      end
   end
else
   A=[];
end
end
```

4 CONCLUSIONES

Se desarrollaron lasfunciones*freqnotch*, *notchandler* y *firamplitude* que permiten diseñar en un filtro FIR óptimo de faselineal de ranuras múltiples utilizando la función de MATLAB*firpm*.

La función *notchandler* tiene tres aplicaciones: inicializar la variable persistente *b,* obtener el prefiltro y obtener el ecualizador.

La función *freqnotch*permite obtener los parámetros con los que se llama a la función *notchandler* para obtener el prefiltro y a la función *firpm* para obtener el ecualizador.

La función *firamplitude*esutilizada por la función *notchandler* para calcular la función amplitud del prefiltro.

Para la confección de la figura 7 se diseñaron en forma sistemática veinte filtros, se verificó la robustezdel método implementado, aún para valores bajos de ancho de banda, donde la función amplitud modificada, dada por la ecuación 18, toma valores extremadamente altos en proximidad de la frecuencia de ranura.

Se considera que el desarrollo es de utilidad dado que actualmente no se tiene en MATLAB una opción para el diseño directo de un filtro FIR ranura.

5 REFERENCIAS

McClellan J., Parks T., Rabiner L. (1973). A Computer Program for Designing Optimum FIRLinear Phase Filters.*IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics,* Vol. AU-20, 195-199.

Yu T. H., Mitra S. K., Babic H. (1990). Design of linear phase notch filters.*Sadhana*, Vol. 15, 133-155.

Selesnick I. (2018*). EL 713 Digital Signal Processing II, Lecture Notes.*NYU Tandon School of Engineering. Recuperado el 13 abril de 2023 de: https://eeweb.engineering.nyu.edu/iselesni/EL713/remez/remez.pdf

MathworksHelp Center (2018). Notchfilterspecificationfdesign.notch. Recuperado el 13 abril de 2023 de: https://la.mathworks.com/help/dsp/ref/fdesign.notch.html

Mathworks Help Center (2018). Parks-McClellan optimal FIR filter design firpm. Recuperado el 13 abril de 2023 de:https://la.mathworks.com/help/signal/ref/firpm.html?searchHighlight=firpm&s_tid=srchtitle_firpm_1

Análisis y aplicación de un controlador de Lyapunov en el controlde dirección de móvil terrestre autoguiado (UGV)

Perez,Jorge[1]; Juárez Gustavo[2]; Pacheco, Fabian[1;] Labastida, Jorge[1]

(1) DEEC, Laboratorio Tecnológico de Procesamiento Digital de Información, FACET,UNT, jperez@herrera.unt.edu.ar, hferrao@herrera.unt.edu.ar, fpacheco@herrera.unt.edu.ar
(2) DEEC, Laboratorio de Inteligencia Artificial. FACET, UNT, gjuarez@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN

En este trabajo se analiza el desarrollo, análisis y modelado de un sistema de controlde dirección de un móvil terrestre autoguiado (UGV) basado en el uso de un controlador de Lyapunov"Dixon Warren (2003)", actuando sobre un motor de corriente continua tipo shunt, el cual forma parte del mecanismo servo actuador del sistema de dirección del móvil. Se trata de un desarrollo experimentalconsistente en un carro móvil a tracción eléctrica,utilizando un motor de corriente continua a escobillas.El método de control escogido es el uso de un controlador digital no lineal de Laypunov, con acción proporcional derivativa (PD)"Johnson (2005)", atendiendo el comportamiento no lineal del sistema y la presencia de efectos de holgura mecánica (Backlash) presentes en el sistema de transmisión mecánica para el movimiento de dirección de las ruedas del UGV. Elcontrolador es escogido por sus características de robustez y estabilidad frente a perturbaciones externas y su capacidad para interactuar con sistemas no lineales. La aplicación del control no lineal de Lyapunov suplenecesidades didácticas y de investigación en control aplicado a la electrónica de potenciaen temas tratados en las cátedras intervinientes.

ABSTRACT

This work analyzes the development, analysis, and modeling of a steering control system for an autonomous ground vehicle (UGV) based on the use of a Lyapunov controller ""Dixon Warren (2003)"acting on a shunt DC motor, which is part of the servo actuator mechanism of the vehicle's steering system. It involves an experimental development of an electrically driven mobile car, using a brushed DC motor. The chosen control method is the use of a nonlinear digital Lyapunov controller with proportional-derivative (PD) action "Johnson (2005)", considering the nonlinear behavior of the system and the presence of backlash effects in the mechanical transmission system for the wheel steering of the UGV. The controller is selected for its robustness and stability characteristics against external disturbances, and its ability to interact with nonlinear systems. The application of nonlinear Lyapunov control addresses didactic and research needs in applied control for power electronics, as covered in the relevant courses.

Palabras claves: *Lyapunov-UGV-Control No Lineal.*

Keywords: *Lyapunov- -UGV-Nonlinear Control.*

1.- INTRODUCCION

Los vehículos autoguiados, también conocidos como UGV (UnmannedGroundVehicles)" Galar, (2022)", son de gran importancia debido a su capacidad para operar sin la necesidad de un conductor humano. Estos vehículos se utilizan en diversas aplicaciones, como la exploración, la minería, la agricultura, la inspección de infraestructuras, la logística, traslado de máquinas herramientas en instalaciones fabriles, entre otras.

En la industria automotriz, los UGV también están siendo desarrollados para su uso en la conducción autónoma, lo que puede tener un gran impacto en la reducción de accidentes de tráfico y la mejora de la eficiencia del transporte.Además, los UGV pueden operar en entornos peligrosos o inaccesibles para los humanos, como zonas de desastres naturales o áreas con presencia de sustancias tóxicas.

Los UGVutilizan diferentes sensores y algoritmos para realizar el seguimiento de trayectorias.Esto se hace de manera iterativa, calculando la acción de control en cada instante de tiempo para mantener el vehículo con la trayectoria y velocidad deseada.

En particular, en este trabajo es de interés el análisis del control de la dirección del móvil, la cual debe cumplirse mediante la utilización de un sistema de control que garantice una alta estabilidad (se trata de un móvil autónomo) y una alta inmunidad a las interferencias externas (por ejemplo, en ambientes industriales). Entre las diversas técnicas de control disponibles, se dispone de la metodología PID, la cual es ampliamente escogida dada su sencillez de aplicación y por ser un método de control estable y robusto que puede manejar perturbaciones y variaciones, fundamentalmente en sistemas lineales.

En el presente trabajo, el UGV es un carro eléctrico diseñado con un motor de corriente continua con escobillas como accionador del mecanismo de dirección del vehículo, conformando un sistema de servomecanismo del tipo no lineal con la presencia de holguras en la transmisión mecánica que utiliza barras, corredera y engranajes reductores, estas holguras denominadas juego backlash(Rohrs, 1994), ocasionan fallas en la transmisión del movimiento del par motor en relación a la posición deseada para la dirección de las ruedas.El esquema más frecuente utilizado en control discreto o digital es el que consideraun tratamiento lineal del proceso, fundamentalmente por requerimientos de diseños simples y de baja carga computacional. En la práctica, sin embargo, la dinámica natural del control de dirección del UGV es del tipo no lineal “Shankar (1999)”, los efectos de la linealización en el sistema de control pueden involucrar efectos no deseados relacionados con una baja precisión en el seguimiento de la trayectoria del UGV y, más grave aún, en una pérdida de estabilidad y control del dispositivo no tripulado.

El uso de métodos de control no lineales proporciona un comportamiento más confiable del sistema en un rango dinámico más amplio que el logrado al realizar una linealización puntual en una zona localizada de trabajo durante el diseño del controlador. Existen numerosos enfoques para el tratamiento y control no lineal de una planta, desde el control optimo robusto utilizando norma H-infinito lineal y no lineal que permite el tratamiento conjunto del problema de control y estabilidad del sistema, a otros como el uso de un método de control por función de evaluación de seguimiento de modelo conocido como controlador de Lyapunov, siendo este el método escogido para controlar el UGV y que será tratado más adelante.
El controlador deLyapunov utiliza un modelo de referencia ajustado a la planta a controlar, realizando en forma automática el ajuste de los estados de velocidad y posición del sistema para forzar la dinámica del sistema a seguir la trayectoria deseada.En términos generales, el control de Lyapunov es una técnica de control robusta y efectiva para los sistemas no lineales, invariantes y variantes en el tiempo, dependiendo su comportamiento y efectividad del grado de ajuste logrado entre el modelo escogido y la planta a controlar y el grado de estabilidad logrado. No obstante, se propone el uso de un segundo controlador a modo de supervisor actuante ante fallas o mal desempeño del controlador principal, tal como se detalla en el desarrollo de este trabajo.

2FORMULACION DEL SISTEMA Y MARCO TEORICO

2.1.-*Modelo General del sistema presentado*

Como se dijo, este trabajo trata del control de dirección de un móvil UGV, en este caso un carro eléctrico, traccionando el mecanismo de dirección mediante un motor DC a escobillas. El UGVrealiza su trasladoguiándose portrayectorias prefijadas o mediante el empleo de algoritmos inteligentes para las tomas de decisiones en tiempo real, sobre el sentido de giro del sistema de dirección el que se compone de barras articuladas, engranajes y corredera dentadas, como lo muestra el esquema simplificado de la Fig. 1.

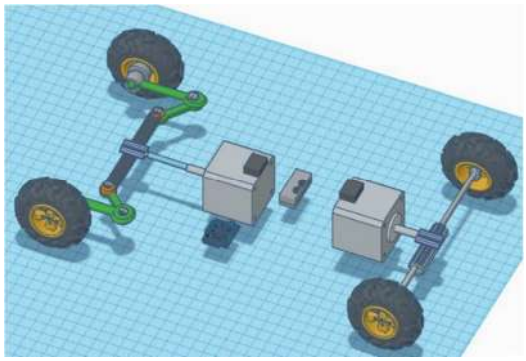


Figura 1: Diagrama simplificado del sistema de dirección accionado por el motor DC.

El sistema requiere al menos del control de dos variables fundamentales:la dirección de su trayectoria y la velocidad de giro de las ruedas.Tratándose de un vehículo con movimiento autónomo, que estará inmerso en altas interferencias, resulta fundamental el uso de tecnologías de control robusto y con baja sensibilidad a estas interferencias. El uso de un controlador estándar PD proporciona gran parte estas premisas, sin embargo, el control PD puede presentar fallas de robustez y alta sensibilidad a las interferencias en situaciones en las que,además,presente cambios significativos en los parámetros del sistema, una respuesta no lineal, existan retardos en la respuesta del sistema, se presente ruido en las mediciones o hay interacciones entre las variables del proceso. Para evitar estas fallas, es importante aplicar técnicas de control que contemplen estas vicisitudes.Entre las diversas opciones de controladores disponibles se optó por el uso de un sistema de control del tipo PD "Johnson (2005)" en un sistema de controlde Lyapunov.

El esquema general descriptivo del sistema puede observarse en la Fig. 2, en la cual se indican la planta, el controlador de Lyapunov y un segundo controlador denominado supervisor, el cual cumple las funciones de monitoreo de la señal de salida (para evaluar el desempeño del controlador primario), y realizar la toma de decisiones (en caso de fallas del controlador primario) en función del grado de ajuste o no de la referencia buscada. Este controlador supervisor no es tratado en este trabajo.

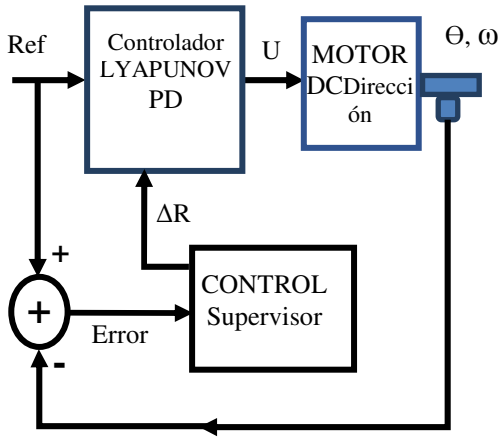


Figura 2: Diagrama simplificado del sistema de dirección accionado por el motor DC.

2.2. Modelado de la Planta a Controlar

En función de lo expuesto anteriormente, es necesario contar con un modelo de la planta a controlar, en este caso el modelo comprenderá:a) la acción de del sistema compuesto por el motor DC,b) el servo mecanismo, c) el sistema de transmisión mecánica motor-barral de dirección de las ruedas, en una expresión no lineal con efecto backlash. La Fig. 3, muestra el sistema en lo concerniente al movimiento del barral articulado por el movimiento horizontal de la cremallera dentada.

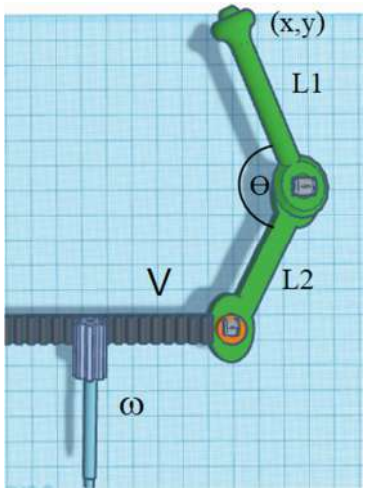


Figura 3: Sistema Barras-cremallera dentada, y engranaje rotor del servo motor.

Es el caso de dos barras articuladas, donde la primera barra tiene una longitud L1 y la segunda barra tiene una longitud L2. Labarra L1 se desplaza horizontalmente en un extremo impulsada por el movimiento de la cremallera dentada, las ecuaciones diferenciales quedescriben la posición del extremo libre de la barra L2 pueden obtenerse utilizando la cinemática y la geometría del sistema, denotando las coordenadas de los extremos de las barras como (x1, y1) para el extremo de la barra L1 y (x2, y2) para el extremo de la barra L2. La posición del extremo libre de la barra L2 está dada por el punto (x, y). Utilizando la geometría del sistema, se pueden escribir las ecuaciones (1):

$$x = x_1 + L_2 \ sin(\theta)$$
$$y = y_1 + L_2 \ cos(\theta) \qquad (1)$$

$$\tan g(\theta) = \frac{y_1 - y}{x_1 - x}$$

Sus ecuaciones diferenciales representan las aceleraciones y velocidades en el sistema del extremo librede L_2, el punto (x,y) y están dadas en (2), en función de la variable Θ con respecto al tiempo.

$$\frac{d^2x}{dt^2} = L_2 \ sin(\theta) \left(\frac{d^2\theta}{dt^2}\right) + L_2 \ cos(\theta) \left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2 \qquad (2)$$
$$\frac{d^2y}{dt^2} = -L_2 \ cos(theta) \left(\frac{d^2\theta}{dt^2}\right) + L_2 \ sin(\theta) \left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2$$

La Fig. 4, muestra el movimiento del extremo de la barra L2 (solidario al eje de la rueda), para diferentes estados de la (2).

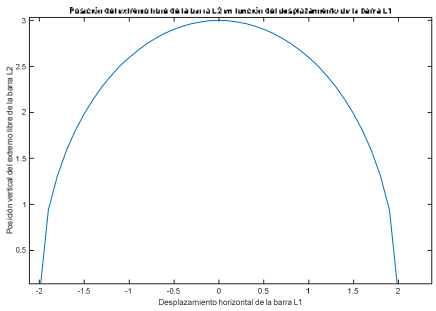


Figura 4: Posición en el eje de la rueda, transmitido por el movimiento horizontal de la cremallera dentada, (sin backlash).

En dicha figura se observa una relación no lineal entre la transmisión de la velocidad angular de giro del eje del servomotor y el ángulo de giro logrado enla rueda del UGV.

Modelo del motor CC

El modelado lineal del motor de CC, se basa en implementacióndel diagrama mostrado en la Fig.5 y sus ecuaciones (3). El desarrollo analítico de la obtención de estas ecuaciones con un detalle más amplio está disponible ampliamente en la bibliografía "Rashid, (2007)".

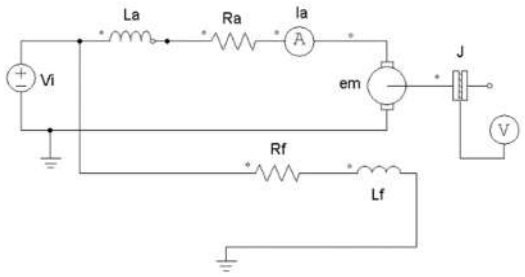


Figura 5: Modelo lineal electro-mecánico del motor CC

$$\frac{\omega(s)}{vi(s)} = \frac{K}{L_a J s^2 + (RJ + L_a B)s + RB + K^2} \qquad (3)$$

$$\frac{Tm(s)}{vi(s)} = \frac{K\,(Js + B)}{L_a J\, s^2 + (RJ + L_a B)s + RB + K^2}$$

En dondeω es la velocidad angular del motor, T es el torque de salida del motor, K es la constante de torque del motor (Nm/A), R es la resistencia del devanado del motor (ohmios), L es la inductancia del devanado del motor (henrios), J es el momento de inercia del rotor (kg-m^2), y B es el coeficiente de amortiguación del rotor (Nms/rad).

El modelo matemático no linealdel motor de corriente continua DC incluye efectos no lineales como la saturación magnética, la fricción y el efecto de la corriente de armadura en la tensión de alimentación, para obtener la ecuación dinámica del motor DC no lineal se puede partir de escribir la (4).

$$J\frac{d\omega}{dt} = K\,i_a - B\,\omega - \frac{K_e}{R_a} i_a\, e_m - F(\omega) \qquad (4)$$

En donde J es la inercia del rotor, K es la constante de torque, B es el coeficiente de fricción, $K_e$es la constante de retroalimentación de velocidad, R es la resistencia del devanado de armadura, i_a es la corriente de armadura, $V_a$es la tensión de armadura, ωes la velocidad angular del motor y F es la fuerza de fricción no lineal, que depende de la velocidad angular.
La relación entre la corriente de armadura y la tensión de armadura se puede modelar utilizando la ecuación (5):

$$V_a = R_a\, i_a + La\frac{di_a}{dt} + K_e\,\omega \qquad (5)$$

La ecuación de torque del motor DC se puede escribir como en (6):

$$T = K\, i_a \qquad (6)$$

La relación entre la corriente de armadura y la velocidad angular se puede expresar entonces como en (7), que es la ecuación básica que relaciona la corriente de armadura y la velocidad angular del motor.

$$i_a = \frac{V_a - K_e\,\omega}{R_a} - \frac{L_a}{R_a}\frac{d\omega}{dt} \qquad (7)$$

El modelo no lineal de un motor de DC debe incluir además las ecuaciones dinámicas, la relación entre la corriente de armadura y la tensión de armadura, la ecuación de torque y la relación entre la corriente de armadura y la velocidad angular. El modelo completo incluiría además las ecuaciones que describen la saturación magnética, el backlash y otros efectos no lineales "Chapman, (2005)".Las expresiones dadas en (8), relaciona el conjunto de ecuaciones obtenidas del análisis del circuito eléctrico de la Fig. 6.

$$\begin{aligned} v(t) &= R\,i(t) + L\frac{di(t)}{dt} + K\,\omega(t) \\ \mathrm{T}(t) &= K\,i(t)\;;\; \mathrm{T}(t) = J\frac{d\omega(t)}{dt} \\ v(t) &= R\,i(t) + L\frac{di(t)}{dt} + \frac{K}{J}\frac{d\omega(t)}{dt} \\ \frac{1}{J}v(t) &= \frac{1}{J}R\,i(t) + \frac{1}{J}L\frac{di(t)}{dt} + \frac{K}{J^2}\frac{d\omega(t)}{dt} \end{aligned} \qquad (8)$$

Donde:

- $\omega(t)$ es la velocidad actual del motor.
- $v(t)$ es la tensión de control aplicada al motor.
- T es el torque del motor y K es la constante de torque.
- Ke es la constante electromotriz del motor.
- J es la inercia del motor.
- R es la resistencia del motor.

Para convertir la expresión de la ecuación de la aceleración angular (9):

$$\frac{1}{J}v(t) = \frac{1}{J}R\,i(t) + \frac{1}{J}L\frac{di(t)}{dt} + \frac{K}{J^2}\frac{d\omega(t)}{dt} \qquad (9)$$

a la forma de espacio de estado, asumiremos que tenemos las siguientes variables de estados:

$x1$: Posición angular del motor (θ)
$x2$: Velocidad angular del motor (ω)

entonces la ecuación diferencial en términos de estas variables de estado resulta dada en (10):

$$\begin{aligned} dx(1) &= x(2) \\ dx(2) &= \frac{K}{J}u(t) - \frac{B}{J}x(2) - \frac{K}{L}x(2) \end{aligned} \qquad (10)$$

Para agregar el comportamiento no lineal a la ecuación de la derivada de la velocidad, se introduce una función no lineal en el lado derecho de la ecuación como en (11).

$$\begin{aligned} dx(1) &= x(2) \\ dx(2) &= \frac{K}{J}u(t) - \frac{B}{J}x(2) - \frac{K}{L}x(2) + f(x(2)) \end{aligned} \qquad (11)$$

En este sistema se considera el efecto de la fricción viscosa B afectado por el valor cuadrático de la velocidad, resultando (12)

$$\begin{aligned} dx(1) &= x(2) \\ dx(2) &= \frac{K}{J}u(t) - \frac{K}{L}x(2) - \frac{B}{J}\|x(2)\|x(2) \end{aligned} \qquad (12)$$

El criterio seguido al agregar el valor absoluto de $v(t)$ en la función $f(x(2))$, es que que la fricción viscosa siempre actúaen la dirección opuesta al movimiento, sin importar si la velocidad es positiva o negativa.

Resta agregar la contribución de la holgura o juego mecánico presente en el mecanismo de transmisión.Las ecuaciones (13), constituyen una posible expresión para el modelo, considerando un aporte lineal del backlash.

$$\begin{aligned} dx(1) &= x(2) \\ dx(2) &= \frac{K}{J}u(t)(1 - backlash) - \frac{B}{J}\|x(2)\|x(2) + \ldots \\ \ldots &- \frac{K}{L}x(2) \end{aligned} \qquad (13)$$

Donde:

- $\theta(t)$ es la posición actual del motor.
- $\omega(t)$ es la velocidad actual del motor.
- $u(t)$ es la señal de control aplicada al motor.
- $Backlash$ el nivel del efecto de backlash.
- K es la constante de torque del motor.
- Ke es la constante electromotriz del motor.
- J es la inercia del motor.
- B es el coeficiente de amortiguamiento del motor.

Controlador de Lyapunov

El controlador de Lyapunov es una técnica utilizada en el campo del control de sistemas para lograr la estabilidad y el seguimiento de una referencia en presencia de perturbaciones e incertidumbres. Se basa en el concepto de funciones matemáticas de Lyapunov, utilizadas para evaluar y garantizar la estabilidad de un sistema.

El controlador de Lyapunov se diseña utilizando un modelo matemático del sistema a controlar y una función de Lyapunov adecuada a la dinámica del mismo. La función de Lyapunov se elige de manera que su derivada sea negativa, lo que implica que el sistema se estabiliza y converge hacia el estado deseado.El controlador de Lyapunov utiliza esta función y el modelo de la planta para evaluar la señal de control que se aplicará al sistema. La señal de control se ajusta permanentemente en función del error entre el estado actual del sistema y el estado deseado de referencia. Esto permite que el controlador tome decisiones de control en tiempo real y realice ajustes para mantener el sistema estable y seguir la referencia.Una de las ventajas del controlador de Lyapunov frente a otros es su capacidad para manejar sistemas no lineales y lidiar con perturbaciones e incertidumbres. Al utilizar la función de Lyapunov, el controlador evalúa la estabilidad del sistema y realiza ajustes para mantenerlo en un estado deseado.Una de las principales ventajas del control de Lyapunov es su capacidad para manejar sistemas no lineales con alta precisión, debido al uso de un modelo interno con un enfoqueorientado a la estabilidad: el controlador de Lyapunov se basa en el análisis de la estabilidad del sistema en lugar de depender únicamente de la retroalimentación de la salida actual. Es importante destacar que la función de Lyapunov se utiliza principalmente como una herramienta para evaluar la estabilidad del sistema controlado, no interviene directamente en el desarrollo del controlador para generar la señal de control, pero su evaluación en línea permite guiar al controlador en términos de ajustes de ganancias, términos de retroalimentación si las hubiere y otras características del controlador. La generación de la señal de control se realiza a través un control proporcional, derivativo (PD). Por ser un diseño basado en un modelo matemático del sistema, permite que el controlador tenga una comprensión profunda del comportamiento del sistema y pueda tomar decisiones de control más informadas, teniendo en cuenta las incertidumbres y las interferencias presentes en las variables endógenas del sistema, en este caso velocidad y posición del mecanismo de dirección del UGV.La Fig.6, muestra un desglose del esquema del controlador de Lyapunov, indicando los bloques principales, el modelo y observador de estados "Bernard (2019)"con la referencia de entrada Ref y las salidas estimadas $\hat{x}$ y el controlador PD con la salida de control U. Remarcándose, en este caso particular, la falta de realimentación de la salida a la entrada, en un modo de trabajo a lazo abierto, de allí la recomendación del uso de un controlador supervisor realimentado, actuante solo en caso de fallas del controlador primario.

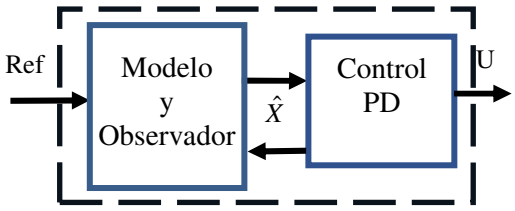


Figura 6: Diagrama simplificado del controlador de Lyapunov.

En la Fig. 6, el controlador PD genera la señal de salida de control dada en (14).

$$u = -k_1\left(x(1) - ref\right) - k_2\, x(2) \qquad (14)$$

En donde k_1 y k_2, son las constantes proporcional y derivativa respectivamente del PD.En cada iteración el controlador de Lyapunov, mide el efecto de la señal de control sobre el modelo y la estabilidad del sistema mediante la función de evaluación de Lyapunov, realizando el ajuste en el espacio de estados de los parámetros $x(1)$ y $x(2)$, para el seguimiento de la referencia Ref.

La función *V* de valoración de Lyapunov

El controlador de Lyapunov es una técnica que se utiliza para analizar y diseñar sistemas de control estables. En su forma clásica, se basa en la evaluación de una función de Lyapunov que debe ser capaz de demostrar la estabilidad del

sistema. La elección de la función de Lyapunov *V* es un aspecto crítico. Si bien no se puede contar con una guía específica que determina la elección optima de *V*, existen algunas recomendaciones generales y enfoques comunes que se utilizan en la práctica.A continuación, se presentan algunos puntos a considerar sobre la función *V* de Lyapunov:

1. Positividad definida: La función de Lyapunov *V* debe ser positiva definida, lo que significa que *V(x)*> 0 para todo $x \neq 0$, y *V(0)* = 0. Esta propiedad garantiza que la función de Lyapunov sea no negativa y alcance su mínimo en el origen.
2. Derivada negativa: La derivada temporal de la función de Lyapunov V, denotada como d*V*/dt, debe ser negativa semidefinida o negativa definida. Esto implica que d*V*/dt ≤ 0 para todo *x*, y d*V*/dt = 0 solo si *x* = 0. Esta propiedad asegura que la función de Lyapunov disminuya en el tiempo y converja hacia el origen.
3. Selección adecuada para la estabilidad deseada: La elección de *V* puede depender de la estabilidad deseada del sistema. Por ejemplo, si se busca una estabilidad asintótica, la función de Lyapunov puede ser una función cuadrática que converja a cero en el origen. Si se desea una estabilidad de tipo exponencial, se puede utilizar una función exponencial decreciente como $V(x) = e^{(\alpha|x|^2)}$ donde α es un parámetro de ajuste.
4. Consideraciones sobre la región de estabilidad: La elección de *V* también puede verse influenciada por la región de estabilidad deseada. Si se desea una región de estabilidad más grande, se pueden utilizar funciones de Lyapunov con superficies de nivel más planas cerca del origen. Esto permite que la región de estabilidad sea más amplia y, por lo tanto, más robusta frente a perturbaciones.
5. Conocimiento del sistema y características específicas: La elección de *V* también puede depender del conocimiento específico del sistema y sus características. Algunas funciones de Lyapunov se adaptan mejor a ciertos tipos de sistemas o propiedades particulares del sistema bajo control.

En el marco de este trabajo se utilizó para la función *V*, la dada en la expresión (15), obteniendo resultados satisfactorios en el modelo del sistema, comparativamente con otras propuestas similarestambiénensayadas computacionalmente. Nótese que la función de referencia resulta naturalmente positiva, y sus derivadas deberán cumplimentar la condición de ser negativas, en el rango de trabajo y para el nivel de referencia deseado.

$$V(x) = (x - Ref(t))^2$$
$$\frac{\partial}{\partial t}V(x) = 2((x - Ref(t))\frac{\partial}{\partial t}(x - Ref(t)) \quad (15)$$
$$\frac{\partial}{\partial t}V(x) = 2((x - Ref(t))(\dot{x} - \frac{d}{dt}Ref(t))$$

3.- ENSAYOS YVERIFICACIONES DEL CONTROLADOR PROPUESTO

Con el objetivode verificar el desempeño algorítmico del controlador desarrollado, esquematizado en las Fig. 2 y Fig. 6, se codificó la propuesta en base al modelo dado en (13), considerando los datos paramétricos del motor, la función de evaluación *V* dada en (15), considerando el acoplo mecánico referido en (2). Para el setup de los ensayos se consideraron distintas señales de referencias: una constante, una rampa y sinusoidal, con diferentes niveles de interferencia eléctricas. También se consideraron distintos niveles de factores de backlash. A fin de exponer estos resultados se muestran las curvas resultantes, de los ensayos más significativos:

CASO A: backlash=0:

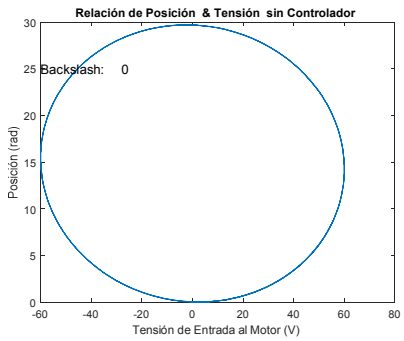


Figura 7: Posición versus Tensión de entrada

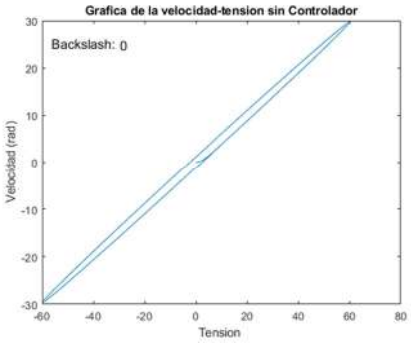


Figura 8: Velocidad versus Tensión de entrada

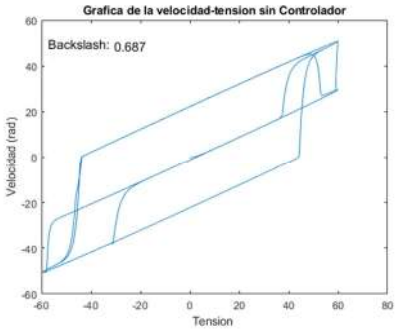


Figura 11: Velocidad versus Tensión de entrada

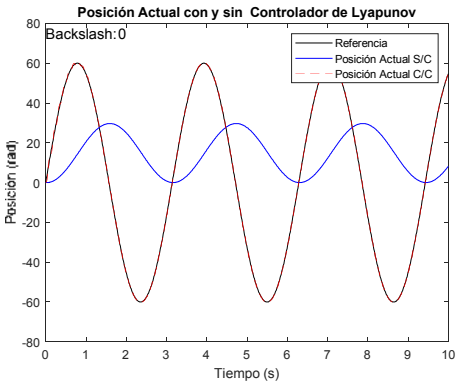


Figura 9: Posición con y sin controlador versus referencia

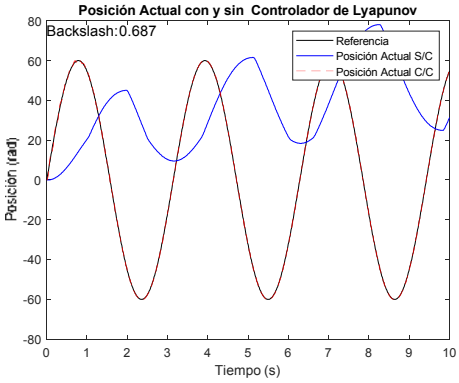


Figura 12: Posición con y sin controlador versus referencia

CASO B: backlash=0.687:

CASO C: backlash=1.25:

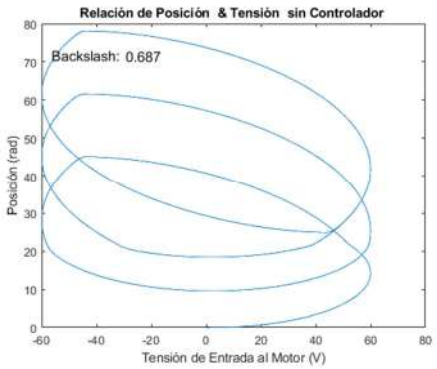


Figura 10: Posición versus Tensión de entrada

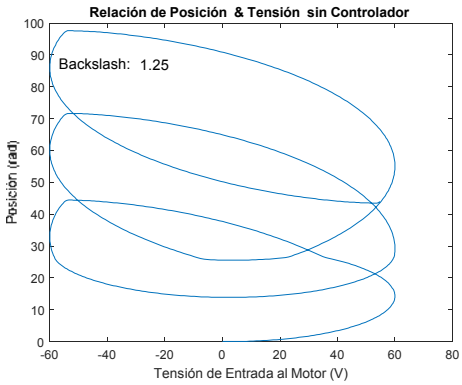


Figura 13: Posición versus Tensión de entrada

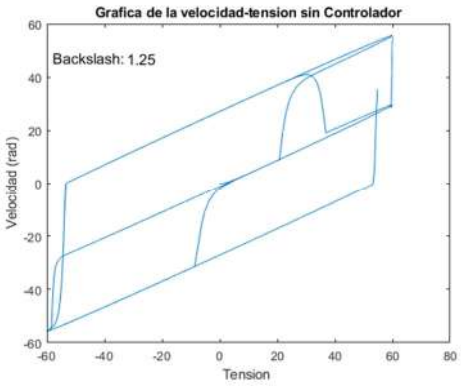


Figura 14: Velocidad versus Tensión de entrada

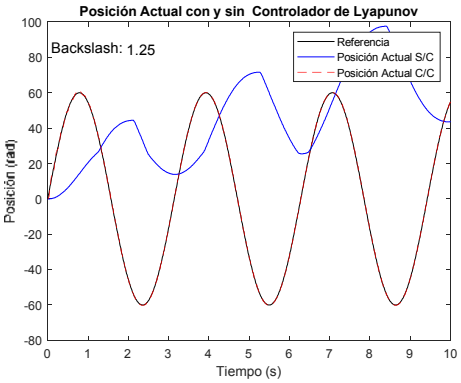


Figura 15: Posición con y sin controlador versus referencia

Observando las gráficas obtenidas, se puede concluir lo siguiente

a) Se observa el deterioro que introduce el backlash en el comportamiento del sistema
b) En el caso (sin backlash), con y sin controlador Lyapunov se obtiene un buen comportamiento estable, pero no se logra la referencia buscada.
c) Con no linealidad agregada por el backlash, en los 3 casos estudiados sin controlador Lyapunov, se presenta una inestabilidad, más fuerte cuando mayor es el efecto backlash.
d) Con no linealidad agregada por backlash, el comportamiento con controlador Lyapunov es muy satisfactorio presentando un comportamiento estable y con un seguimiento bastante aceptable de la señal de referencia, tal como se observa en las últimas graficas de cada caso en relación a la posición

4 CONCLUSIONES

El uso de un controlador de Lyapunov diseñado para el motor DC shunt con comportamiento no linealy efecto backlashproporciona algunas ventajas y características distintivas que justifican la elección de este tipo de controlador, fundamentalmente por los siguientes puntos:

1 Estabilidad global: El controlador de Lyapunov garantiza la estabilidad global del sistema, lo que significa que el sistema convergerá a un estado de equilibrio estable (estricta o en un sentido amplio), independientemente de las condiciones iniciales. Esta propiedad es especialmente valiosa en este sistema no linealdonde la estabilidad puede ser más difícil de garantizar con otros tipos de controladores.
2 Adaptabilidad y robustez: El controlador de Lyapunov se adapta a cambios en el modelo o perturbaciones en el sistema, lo que lo hace más robusto en comparación con otros controladores. Puede manejar variaciones en los parámetros del sistema, cambios en las condiciones de operación y perturbaciones externas, según ensayos computacionales realizados, y el basamento teórico de este tipo de controlador.
3 En el modo presentado, no requiere realimentación de la salida real:a diferencia de algunos controladores, el controlador de Lyapunov puede no requiere medir o realimentar la salida real del sistema en tiempo real. Esto puede simplificar la implementación y reducir la necesidad de sensores adicionales, aunque en esta propuesta se planifica el uso de un controlador supervisor que si necesitará de dicho sensor.

Sin embargo, ya que el controlador de Lyapunov se basa en el modelo matemático del sistema, es importante tener en cuenta que se requiere una alta exigencia en el modelo del sistema y, para lograr un buen desempeño, es necesario tener un modelo preciso que represente fielmente el comportamiento no lineal del motor DC shunt.Se trabaja en este sentido para mejorar el ajuste del modelo frente a una planta real.

5 AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue desarrollado con en el marco del proyecto de investigación, PIUNT E725-2023.SCAIT-UNT.

REFERENCIAS

Bernard P, *Observer Design for Nonlinear Systems,* Springer International Publishing, Switzerland, 2019.

Chapman J "Electric Machinery Fundamentals" de Stephen 2005.

Dixon Warren, Behal A., Dawson D, M. Dawson , Nagarkatti S., Nonlinear Control of Engineering Systems A Lyapunov-Based Approach, Springer Science, New York, 2003.

Galar, Diego, Uday Kumar, Dammika Seneviratne, Robots, Drones, UAVs and UGVs for Operation and Maintenance,CRC Press, (2020).

Johnson M. A, Moradi M. H., PID Control New Identification and Design Methods, Springer Science+Business Media, London, 2005.

Rashid M. H, Electronics Handbook Devices, Circuits, and Applications, Elsevier, USA, 2007.

Shankar S., Nonlinear Systems: Analysis, Stability, and Control, Springer-Verlag, New York, 1999.

Rohrs, CH., J. Melsa, & D. Schultz, *Sistemas de Control Lineal*, Mc Graw – Hill, México,1994.

Análisis de distribuciones de series temporales aplicada a la tendencia climática para la región del Valle de Catamarca

Pucheta, Julián[1,2]; Salas, Carlos[2]; Herrera, Martín[2]; Arrieta, Fernando[3]; Patiño, H. Daniel[4]; Rodríguez Rivero, Cristian[5]

(1) Departamento de Electrónica, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Av. Vélez Sarsfield 1611, Córdoba, Argentina. jpucheta@unc.edu.ar
(2) Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional de Catamarca, Catamarca, Maximio Victoria 55, Catamarca. Argentina. csalas@tecno.unca.edu.ar, mherrera@tecno.unca.edu.ar
(3) Universidad Austral, https://www.austral.edu.ar, Buenos Aires, Argentina. arrietafernando@gmail.com
(4) Instituto de Automática, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan, Av. Libertador General San Martín (Oeste) N° 1109. San Juan, Argentina. dpatino@inaut.unsj.edu.ar.
(5) Cardiff Schoolof Technologies, Cardiff MetropolitanUniversity, Western Avenue, Cardiff, CF5 2YB, Wales. CRodriguezRivero@cardiffmet.ac.uk

RESUMEN

En la Región de la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca hay antecedentes de eventos climáticos severos que han quedado registradas por sus impactos negativos en la sociedad. Desde la disciplina de control automático se trata de proponer una solución al hecho de estar alerta y prever acciones que mitiguen los daños mediante un sistema de modelado de procesos dinámicos. Se proponen algoritmos para el caso particular del Valle de Catamarca empleando datos de disponibilidad libre con latencia de 48Hs (NASA-POWER). El desafío en el cálculo es que las series de datos tienen pocos años de historia como para definir una tendencia a largo plazo y los eventos severos aparecieron en los últimos años, sabiendo que las variables climáticas presentan estacionalidad. Se muestran los resultados obtenidos de algoritmos de detección de tendencia en los datos, enfocados en los cambios de distribución de lluvia a lo largo del año hidrológico. Se analiza la divergencia Kullback-Leibler entre una distribución media y la distribución en cada año de la lluvia para establecer la probabilidad de eventos climáticos severos en el futuro.

ABSTRACT

In the Region of San Fernando del Valle de Catamarca, there is a history of severe climatic events that have been recorded due to their negative impacts on society. From the discipline of automatic control, a solution is proposed to be aware of and anticipate actions that mitigate damage through a dynamic process modeling system. Algorithms are proposed for the particular case of the Catamarca Valley using free availability data with a latency of 48 h (NASA-POWER). The challenge in the calculation is that the data series have a few years of history to define a long-term trend, and severe events appeared in recent years, knowing that the climatic variables present seasonality. The results obtained from trend detection algorithms in the data are shown, focusing on changes in rainfall distribution throughout the hydrological year. The Kullback-Leibler divergence between a mean distribution and the distribution in each rainfall year was analyzed to establish the probability of severe climatic events in the future.

Palabras clave: distribución de lluvia - pronóstico de series temporales - modelos dinámicos - predicción de series temporales, filtrado dinámico.

Keywords: rainfalldistribution - time series forecast - dynamicmodels - time series prediction - exponentialsmoothing.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 *Presentación del problema*

En la Región de la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca hay una serie de antecedentes de inclemencias de eventos climáticos que han quedado registradas por sus impactos en la sociedad, por ejemplo, en el año 2020 el Portal Catamarca Actual (2020a y 2020b) daba los detalles de los daños y en el año 2021 se repetíael evento en la propia Ciudadde Catamarca siendo noticia de alto impacto como lo publica el diario La Nación (2021) y el diario Página 12 (2021). Estos eventos generan una demanda de un sistema de alerta que tenga capacidad de predecir el evento con una antelación útil para la toma de decisiones, como muestran Salas et al. (2022) para el corto plazo.

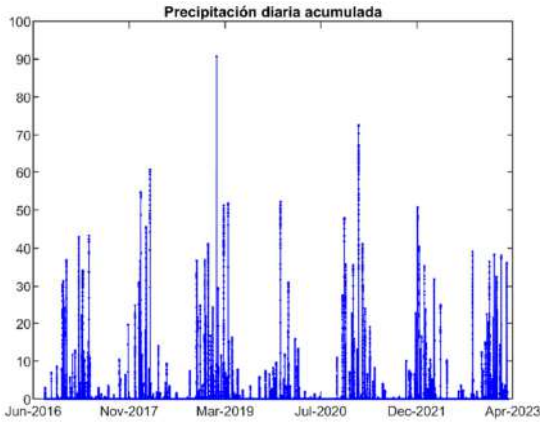


Fig. 1. Serie temporal de lluvia acumulada obtenida desde una central meteorológica (https://meteorologia.catamarca.gob.ar).

Para ello, se requiere de realizar sistemas de predicción y pronóstico enfocados en el evento de interés, con la historia de valores climáticos que dan información para proponer un sistema con exactitud adecuada a la cantidad de tiempo previo que se requiera en los cuales ya se tienen diversos resultados que sirven como referencia (Pucheta et al., 2012; Rodríguez Rivero et al. 2016;Rodríguez Rivero et al., 2017a;Rodríguez Riveroet al. 2017b). En la Fig. 1 se muestran los datos obtenidos desde la central de meteorológica delMinisterio de Ciencia e Innovación Tecnológica de acceso abierto (https://meteorologia.catamarca.gob.ar)del Gobierno de Catamarcay en la Fig. 2 se muestran datos diarios obtenidos del proyecto Nasa Power(https://power.larc.nasa.gov/), que es el Proyecto de Predicción de Recursos Energéticos Mundiales (POWER) del Centro de Investigación Langley (LaRC) de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) financiado a través del Programa de Ciencias Aplicadas/Ciencias de la Tierra de la NASA. En el primer caso, los datos son propietarios con latencia de 10 minutos que son series de lluvia obtenidas desde una central meteorológica del Ministerio de Ciencia e Innovación Tecnológica del Gobierno de Catamarca, mientras que en el segundo caso los datos tienen una latencia de 48Hs y son obtenidos desde la web. Además, en el primer caso la medición es puntual en tierra, mientras que en el segundo caso la medición se hace a través de un sensor remoto y abarca un área de 55 por 55 km aproximadamente, con centro en el mismo punto de interés mostrado en la Fig. 3. Con el primer caso se han obtenido resultados de predicción que impactan en los futuros siete días detallados en Salas et al. (2022).

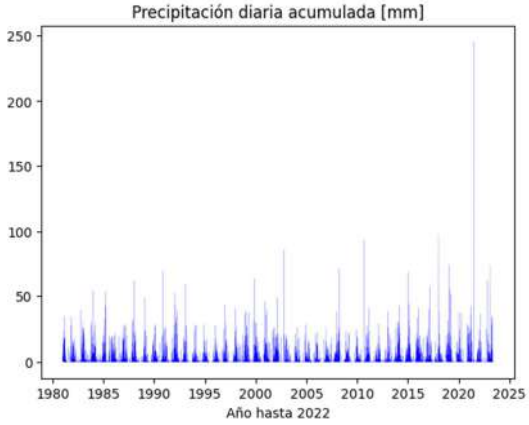


Fig. 2. Serie temporal de lluvia diaria acumulada obtenida del proyecto Merra(https://power.larc.nasa.gov/).

1.2 *Objetivo del trabajo*

Se pretende diseñar un sistema que permita planificar acciones a largo plazo (uno o dos años) para lo cual se propone determinar la tendencia de la distribución de precipitaciones en la región de interés.

Fig. 3. Región de interés para el análisis de distribución de precipitaciones.

1.3 *Análisis preliminar de distribuciones*

Se muestra el análisis preliminar de datos, en las Fig. 4 y en la Fig. 5. La intención de mostrar una secuencia de distribuciones de seis años en cada uno, siendo en 1981 el inicio de la primera secuencia y 2017 el inicio de la segunda.

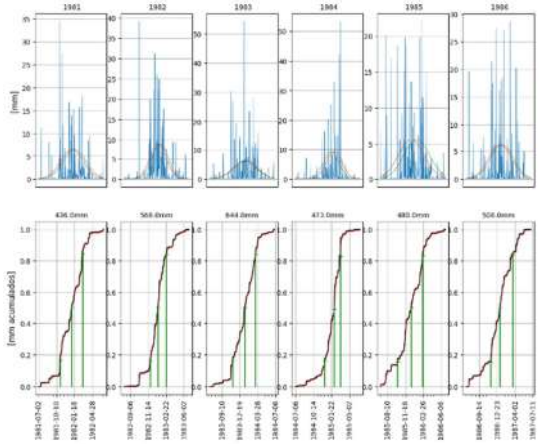


Fig. 4. Distribución de precipitaciones en la Región de interés entre 1981 y 1987 destacando cada año hidrológico.

En cada secuencia, hay una gráfica superior y una inferior que se corresponden, donde la superior es la serie temporal y la inferior es la acumulación en el período anual. La distribución no es sencilla y tampoco única (Cox y Isham.1980), pero una gaussiana como la superpuesta en rojo para cada caso es la primera aproximación para todo el proceso. La distribución verde es la obtenida promediando todos los años, y la distribución roja es la que presenta cada año en particular.

1.4 *Parametrización preliminar de distribuciones*

En las Fig. 4 y Fig. 5se detallan dos secuencias de años hidrológicos con sus distribuciones acumuladas graficadas en la parte inferior. Nótese que está indicado el valor de 0,5 con una línea vertical, pero también previo y posterior a esta línea hay dos más, que indican los valores de desviaciones estándar σ_1 y σ_2. En un caso de distribución Gaussiana ideal, ambos valores son iguales, pero en este trabajo van a considerarse los análisis para cada una de las desviaciones. El análisis será cualitativo en una primera instancia, pero se podrá deducir qué tendencia tiene cada uno de estos parámetros para luego sacar conclusiones.

1.5 *Parametrización ideal de distribuciones*

Se puede proponer una distribución que favorezca el aprovechamiento al máximo del agua, considerando el solsticio del verano (21 y 22 de diciembre para Catamarca) que indica el inicio de la máxima demanda de agua por parte del consumidor.

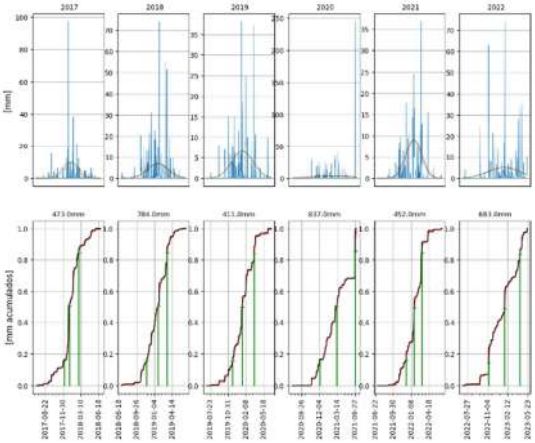


Fig. 5. Distribución de precipitaciones en la Región de interés entre 2017 y 2022 destacando cada año hidrológico.

En la Fig. 6 se detalla el valor de la media de precipitaciones históricas en la región, y la precipitación acumulada anual en el período de tiempo entre 1981 y 2022. Nótese que la variación es por exceso en los últimos años, respecto de los primeros, como si se tratara de un clima que tiende a ser húmedo habiendo sido seco.

En la Fig. 7 se detalla la distribución en días que tiene la precipitación durante el año hidrológico, que comienza el 1 de julio de cada año y termina el 30 de junio. El valor medio es 205 días, pero tiene gran variabilidad.

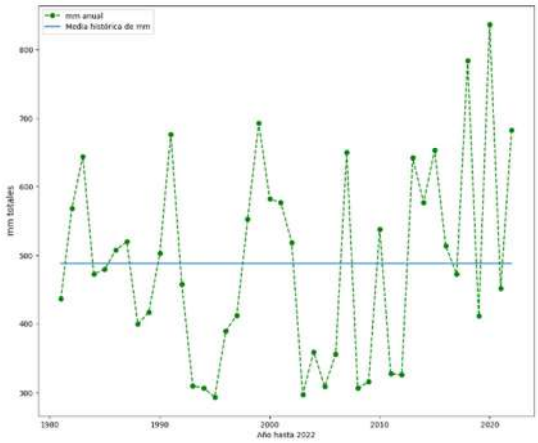


Fig. 6. Precipitaciones anuales en el período de 1981 a 2022.

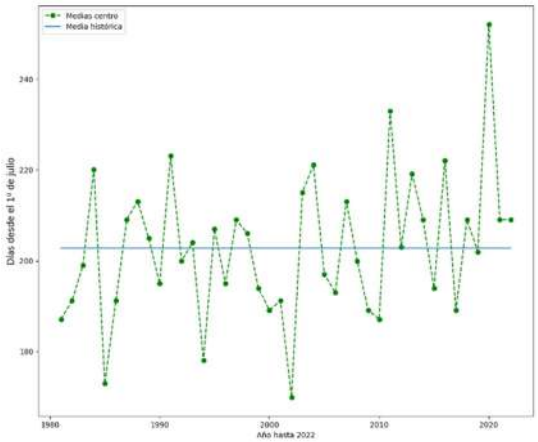


Fig. 7. Distribuciones de los valores acumulados medios y su distribución en días respecto del año hidrológico para el período de 1981 a 2022.

En la Fig. 8 se detalla cada desviación estándar de la distribución gaussiana inferida por la acumulada, como se muestra en la parte inferior de las figuras Fig. 4 y Fig. 5. Nótese que para que cada una de las distribuciones sea representada correctamente por una distribución gaussiana, ambas desviaciones deberían ser iguales. No obstante, el análisis aquí propuesto puede hacerse con todas las distribuciones que definan estos parámetros ya que es importante simplificar el procedimiento en estaprimera etapa.

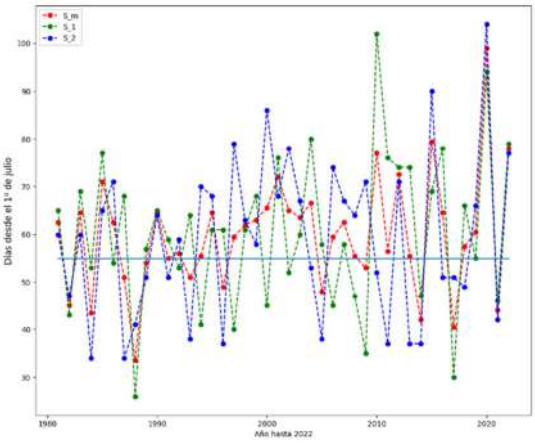


Fig. 8. Desviaciones estándar antes y después del 50% de la distribución acumulada en el año hidrológico, indicada por la primer y segunda línea vertical en las gráficas inferiores de lasfiguras Fig. 4 y Fig. 5.

2. SOLUCIÓN PROPUESTA PARA DETERMINAR LA TENDENCIA

Para determinar los cambios de las distribuciones y así poder determinar una tendencia en el comportamiento de la distribución de precipitaciones a lo largo del año, se propone emplear la divergencia Kullback-Leibler(Bishop, 2006), que para dos distribuciones p(x) y q(x) se define como

$$D_{KL}(P\|Q)=\int_{-\infty}^{\infty} p(x)\log\frac{p(x)}{q(x)}dx. \qquad (1)$$

Pero como las distribuciones que van a estudiarse se asumen gaussianas, se tiene $p(x)=N(\mu_1,\sigma_1)$ y $q(x)=N(\mu_2,\sigma_2)$

$$D_{KL}(P\|Q)=\log\frac{\sigma_2}{\sigma_1}+\frac{\sigma_1^2+(\mu_1-\mu_2)^2}{2\sigma_2^2}-\frac{1}{2}. \qquad (2)$$

En la Fig. 9 puede verse la evolución de la divergencia Kullback-Leibler para las distribuciones descriptas por los parámetros indicados en las figuras Fig. 4 y Fig. 5. Nótese que es difícil establecer una tendencia en la divergencia, para lo cual se propone un filtrado. En este trabajo se va a emplear un suavizado exponencial estándarque suavice la serie de manera que no se desprecie ningún dato como valor atípico.

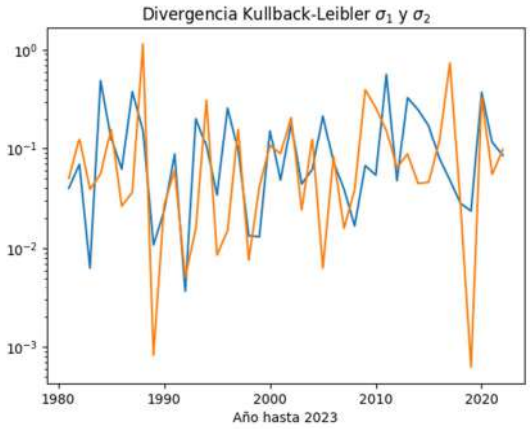


Fig. 9. Divergencia Kullback-Leibler entre distribuciones gaussianas.

El análisis de tendencia puede ser realizado a partir de las secuencias de la Fig. 9, donde los resultados pueden verse en las Fig. 10 y Fig. 11. Nótese que las tendencias son marcadas pero muy suaves. Ahora puede destacarse esa pendiente, pero para ello deberían quitarse del análisis los datos atípicos o suavizarse sin perder el tamaño de la población.

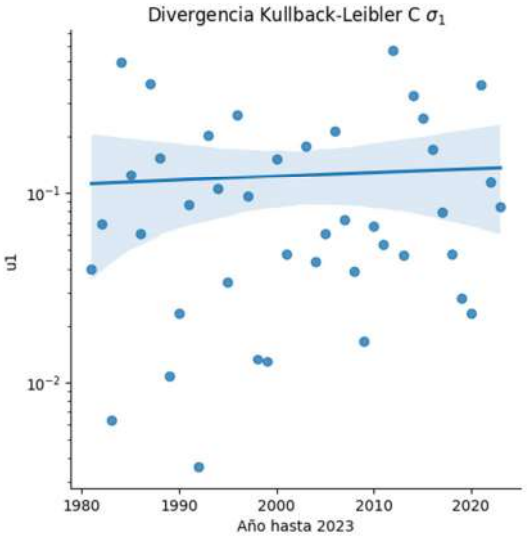


Fig. 10. Tendencia de la divergencia Kullback-Leibler entre distribuciones gaussianas para σ_1.

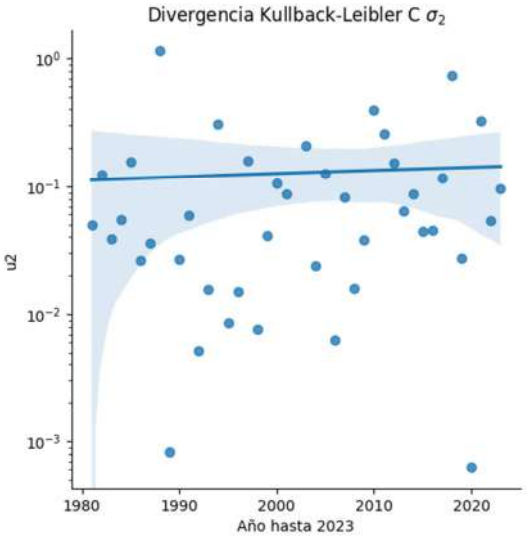


Fig. 11. Tendencia de la divergencia Kullback-Leibler entre distribuciones gaussianas empleando σ_2.

2.1 *Suavizado exponencial*

Dado que la serie temporal a analizar tiene muy pocos valores, no es conveniente considerar como valores atípicos a alguno de ellos con el fin de que quede clara la tendencia. Es más adecuado emplear toda la información disponible y mediante un suavizado lineal resaltar sus

características (Hyndman y Athanasopoulos 2023). Un método muy útil para filtrar linealmente datos que son relativamente pocos, irregulares sin tendencia ni estacionalidad claras es el suavizado exponencial. Su implementación operativa tiene un único parámetro α, que compone un filtro complementario entre una variable de estado y la medición que se denomina $u_k$que es la secuencia de divergencia en estudio

$$\begin{aligned} y_k &= x_k \\ x_k &= \alpha u_k + (1-\alpha)x_{k-1}. \\ k &= 1,2,3\ldots \end{aligned} \tag{3}$$

En la Fig. 12 se muestra el resultado de emplear este filtro de suavizado con un parámetro α=0,6.

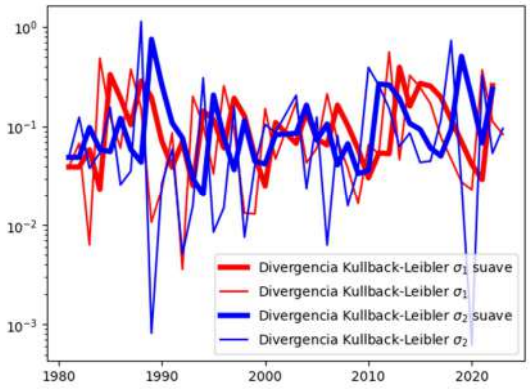


Fig. 12. Suavizado exponencial para destacar las características de tendencia en la Divergencia Kullback-Leibler con α=0,6 en la expresión(3).

2.2 *Análisis de tendencia*

Cuando se parte de la secuencia suavizada, es más simple destacar la tendencia de la divergencia, como se muestra en las figuras Fig. 13 y Fig. 14.

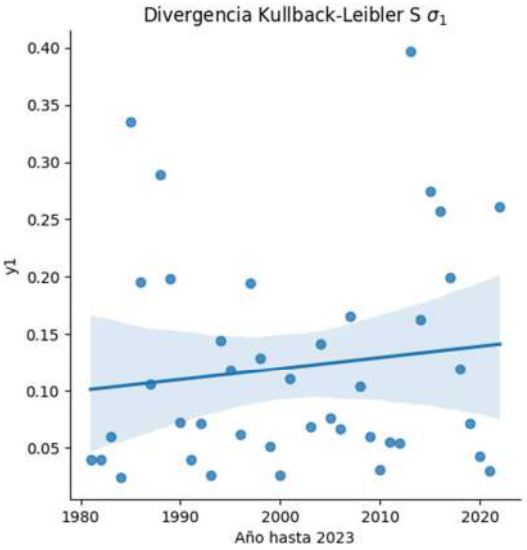


Fig. 13. Tendencia luego de suavizar la secuencia de datos de la tendencia de la divergencia Kullback-Leibler.

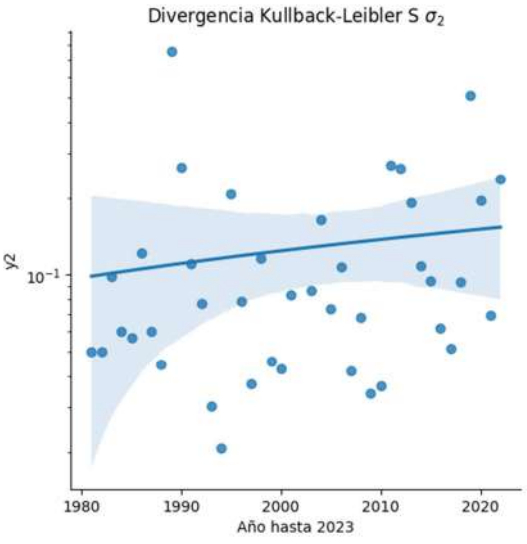


Fig. 14. Tendencia luego de suavizar la secuencia de datos de la tendencia de la divergencia Kullback-Leibler para la distribución según σ_2.

3. CONCLUSIONES

A partir de los gráficos mostrados de tendencia para los parámetros bajo estudio que representan el comportamiento de las distribuciones de lluvia anual, puede concluirse que las distribuciones

tienden a alejarse de su evolución normal histórica. Así, es más probable la aparición de eventos climáticos severos en la Región del Valle de Catamarca en los años hidrológicos próximos. Éste aumento a largo plazo (dos años) de probabilidad calculado es lo que apoya la necesidad de generar defensas y previsiones de infraestructura para evitar los daños por las inundaciones. Además, en el mediano plazo (un año), se apoya la generación de mecanismos de Defensa Civil para mitigar el daño mediante corte de algunas vías de circulación vehicular y desconexión del suministro eléctrico en los sectores afectados que potencialmente sufrirán daños.

4. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de Catamarca, al Ministerio de Ciencia e Innovación Tecnológica del Gobierno de Catamarca, a la Universidad Nacional de Córdoba, a la Universidad Nacional de San Juan y a la Cardiff MetropolitanUniversity por su apoyo en el desarrollo de proyectos involucrados en el Control y modelado de procesos de dinámica lenta, media y rápida.

5. REFERENCIAS

Catamarcactual. 2020a. Crecida Enero 2020. https://www.catamarcactual.com.ar/informacion-general/2020/1/15/impresionante-crecida-del-rio-el-tala-dejo-gente-aislada-193936.html

Catamarcactual. 2020b. Crecida Enero 2020. https://www.elancasti.com.ar/info-gral/2020/1/4/crecio-un-rio-algunos-autos-quedaron-varados-422962.html

La Nación. 2021. Crecida Marzo 2021. https://www.lanacion.com.ar/sociedad/catamarca-un-vehiculo-fue-arrastrado-por-un-rio-y-su-conductor-desaparecio-nid03032021/

Pagina 12. 2021. Crecida Marzo 2021. https://www.pagina12.com.ar/326964-la-capital-catamarquena-quedo-anegada-por-una-tormenta

Julián Pucheta, Martín Herrera, Carlos Salas, Víctor Sauchelli, C. Rodríguez Rivero, H. Daniel Patiño. (2012). "Non-parametricmethodsforforecasting time series from cumulative monthlyrainfall". En "Rainfall: Behavior, Forecastingand Distribution" Pp 204, Editors: Olga E. Martín and Tricia M. Roberts, Nova SciencePublishers, Inc. ISBN: 978-1-62081-551-9. Pp. 69-89 (2012). Ed Nova Publishers.Nova SciencePublishers, Inc. 415 Oser Avenue, Suite N Hauppauge, NY, 11788 USA.

Cristian Rodríguez Rivero; Julian Pucheta; Alvaro Orjuela Canon; Leonardo Franco; Yvan Tupac Valdivia; Paula Otano, VictorSauchelli., (2017a). "NoisyChaotic time series forecastapproximatedbycombiningReny'sentropywith Energy associatedto series method: applicationtorainfall series". IEEE LatinAmericaTransactions, vol. 15, no. 7, pp. 1318-1325, 2017, doi: 10.1109/TLA.2017.7959353. Electronic ISSN: 1548-0992.

Cristian Rodríguez Rivero, Julián Pucheta, Sergio Laboret and Víctor Sauchelli. "Energy associatedtuningmethodfor short-term series forecastingby complete and incomplete datasets". (2017b). Journalof Artificial Intelligence and Soft Computing Research. Volume 7, Issue 1, Pages 5–16, ISSN (Online) 2083-2567, DOI: https://doi.org/10.1515/jaiscr-2017-0001, 2017.

Cristian Rodríguez Rivero, Julián Pucheta, VictorSauchelli, H. Daniel Patiño. (2016)."Short time series prediction: BayesianEnhancedmodifiedApproachwithapplicationto cumulative rainfall series". (2016). International Journalof Innovative Computing and Applications, InderscienceEPublishersLtd, 2016 Vol.7, No.3, pp.153 - 162. ISSN online 1751-6498, ISSN print: 1751-648X. DOI: http://dx.doi.org/10.1504/IJICA.2016.078730. 2016.

Salas, Carlos, Pucheta, Julián, Herrera, Martín, Patiño, H. Daniel y Rodríguez Rivero, Cristian. (2022). Pronóstico de series temporales aplicada a la predicción de eventos climáticos severos para la Región del Valle de Catamarca. Libro de Resúmenes de las XV Jornadas de Ciencia y Tecnología de las Facultades de Ingeniería del NOA-Salta 2022. http://xvjcyt.ing.unsa.edu.ar/presetentacion-de-trabajos/, realizadas el 29 y 30 de septiembre de 2022 en la Ciudad de Salta.

Cox, D. R. and V. Isham.(1980). "Point Processes". Chapman & Hall, London 1980.

Bishop, Christopher. (2006).PatternRecognitionandMachineLearning. Springer 2006.

Rob Hyndman and George Athanasopoulos. (2023).Forecasting: Principles and Practice. Libro en línea disponible en https://otexts.com/fpp3/. 28 de Mayo de 2023.

Mapeo de resistividades eléctricas de suelos del sudoeste de la provincia de Santiago del Estero

Ruiz, Francisco[1];Funes Cornet, Facundo[1];Fernández Almenar, Gustavo[1];Ruggeri, Ana[1];Gelid, Pedro[1];Rearte, Luis[1];Godoy, Carlos[1];Storniolo, Jose[1];Pappalardo,Luis[1]

(1) Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero. fsruiz@gmail.com; ffunescornet@gmail.com; gfalmenar@gmail.com; aruggeri@unse.edu.ar; benjamingelid@hotmail.com; luisrearte84@gmail.com;godoycar@unse.edu.ar; jose_storniolo@hotmail.com; apappalardo@edese.com.ar

RESUMEN

Este trabajo pretende cubrir una necesidad real de la provincia de Santiago del Estero. Se tomaron 48 medicionesde resistividades de suelos,en la zona sudoeste de la provincia en una extensión de 455 km^2. Todo ello con fines de mejorar y/o asegurar el conocimiento de las propiedades magnéticas o dieléctricas (perfil eléctrico) representativos de la calidad del terreno, que permitan un adecuado diseño de los sistemas de puesta a tierra por parte de los profesionales idóneos en el tema.

ABSTRACT

This work aims to cover a real need in the province of Santiago del Estero. 48 soil resistivity measurements were taken in the southwestern area of the province in an extension of 455 km^2. All this with the purpose of improving and/or ensuring the knowledge of the magnetic or dielectric properties (electrical profile) representative of the quality of the land, which allow an adequate design of the grounding systems by qualified professionals in the subject.

Palabras clave: Resistividad - Suelos - Puesta a Tierra - Redes Eléctricas

Keywords: Resistivity - Soils - Grounding - Electrical Networks

1 INTRODUCCION

La resistividad ρ es un parámetro característico de los medios conductores. En un medio conductor homogéneo, isotrópico, el valor de la resistividad es igual en cualquier punto y dirección del medio. En el caso real de un terreno en cualquier parte del mundo es muy difícil, si no imposible, considerarlo como homogéneo. La naturaleza propia de su constitución y por estar sometido a los efectos climáticos hacen, que aun en el caso de tener un terreno constituido por un solo material existan variaciones de su resistividad respecto a la profundidad, principalmente por la variación del nivel freático y del grado de compactación del material.

La resistividad o resistencia específica del suelo, se indica en $\Omega \cdot m^2/m = \Omega \cdot m$ y equivale a la resistencia de un cubo de $1\,m$ de arista medida entre dos caras opuestas del cubo.

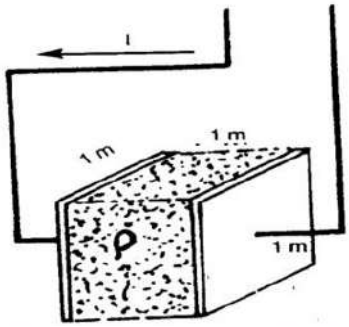


Figura 1. Resistividad eléctrica

Haciendo una breve mención de los factores que influyen en la resistividad del terreno se encuentran:

- Tipo de suelo

- Composición química de las sales disueltas en el agua contenida en el suelo
- Concentración de sales disueltas en el suelo
- Nivel de las aguas subterráneas
- Temperatura
- Granulometría del suelo
- Compactibilidad y presiones a las cuales está sometido el suelo
- Efecto corona en el caso de grandes densidades de corriente

En la Norma IRAM 2281-1 se presentan diversas tablas que muestran la influencia de estos factores en el valor de la resistividad del suelo. Por ejemplo, ver Fig. 1.

Tabla B1 - Influencia de las aguas subterráneas en la resistividad del suelo

Contenido de agua (% en masa de volumen unitario del suelo)	Valor general de la resistividad en: Ω . m	
	Mezcla arcilla-arena	Arena
0	10.000.600	-
2,5	1.500	3.000.000
5	430	50.000
10	185	2.100
15	105	300
20	83	90
30	42	20

Tabla B2 - Influencia de la temperatura en la resistividad de un suelo compuesto por una mezcla de arcilla y de arena (Contenido de agua, aproximadamente un 15 %)

Temperatura °C	Valor general de la resistividad en Ω . m
20	72
10	99
0 (agua)	138
0 (hielo)	300
- 5	790
-15	3.300

Tabla B3 - Valores típicos de la resistividad de ciertos tipos de suelo y agua

Tipos de suelo o agua	Resistividad típica Ω . m	Límites normales Ω . m
Agua de mar	2	0,10 a 10
Arcilla	40	8 a 70
Agua subterránea, agua de pozo y agua de manantial	50	10 a 150
Mezcla de arcilla y arena	100	4 a 300
Pizarra, esquisto, gres, etc.	120	10 a 1000
Turba, limo y lodo	150	5 a 250
Agua de lago y de torrente	250	100 a 400
Arena	2.000	200 a 3.000
Grava de morena	3.000	40 a 10.000
Grava marítima	15.000	3.000 a 30.000
Granito	25.000	10.000 a 50.000
Hielo	100.000	10.000 a 100.000

Figura 1: Norma IRAM 2281-1

En la práctica por lo general primero se hace la medición de resistividad del suelo y luego se aplica alguna de las fórmulas para dimensionar al sistema de puesta a tierra.

En el caso de esta investigación se consideró originalmente realizar en campo, la medición del valor de resistencia de puesta a tierra, midiendo las jabalinas de la red de distribución en Media Tensión del territorio provincial, la cual surca todo el territorio, en diversas direcciones.

Pero al organizar las tareas y realizar el análisis de los métodos a utilizar, se procedió a realizar directamente la medición del valor de resistividad eléctrica del suelo en diferentes puntos específicos del territorio de la provincia de Santiago del Estero.Ya que además se contaba con los instrumentos de medición apropiados para este tipo de medición.

De esta manera se procuró lograr generarun material nuevo para la región, que pueda colaborar, entre otras cuestiones, con el diseño de los sistemas de puesta a tierra para distintas necesidades, tanto de protección, como de control en las zonas donde se realizaron las mediciones.

Pero las mediciones y valores obtenidos no serán solamente útiles para aplicaciones netamente eléctricas. El tener un registro de valores de resistividad eléctrica (o de su inverso, la conductividad eléctrica) de la parte superior de la corteza terrestre son imprescindibles en diversas aplicaciones, tales como la radiodifusión de señales en ondas medias, estudios de corrosión del suelo a estructuras metálicas de gran extensión, estimación de la capacidad defensiva de los suelos a la infiltración de contaminantes y otras.

Existe además, una particularidad propia de la provincia de Santiago del Estero, que está relacionada con la amplia extensión del territorio y que presenta, por esta razón, diversas características de suelo en cuanto a consistencia y humedad. Así es que encontramos suelo rocoso en sectores serranos al oeste y sur, suelos arenosos al centro y suelos arcillosos distribuidos. Estando el valor de la resistividad directamente relacionado con la característica del suelo, es de esperar la obtención de una variedad de valores.

2 ANTECEDENTES

Alarcón (2011) realizo en Bogotá, Colombia, un estudio de estas características, en donde el objetivo era caracterizar geoeléctricamente un área de 28km^2 a profundidades de 2,5 m, 5m y 10m, para lo cual, en el trabajo de campo se realizaron 200 mediciones. Los resultados fueron mapas de iso-resistividad eléctrica a las profundidades mencionadas.

Por ejemplo, la imagen que se muestra en la Fig. 2,es el mapa a profundidad de 2,5 metros, los ejes son coordenadas geográficas y los colores se corresponden con la escala de valores de resistividad en Ohm-m que se muestra a la derecha.

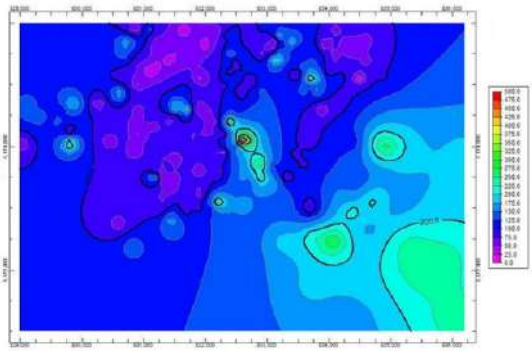


Figura 2. Mapa de IsoResistividad Eléctrica a una profundidad de 2,5 m. Escala de valores a la derecha, en Ohm-m. Coordenadas en metros con origen en Bogotá.

Anteriormente un estudio similar sehabía realizado en Manaus, Brasil, donde Nilton de Souza (2004) dirigió un equipo, en dondeen el trabajo de campo se realizaron 138 mediciones, y un posterior trabajo estadístico para dar como resultado mapas de iso-resistividades, a profundidades de 1, 2 y 3 metros. Uno de los mapas de ese estudio es el que se muestra a continuación.

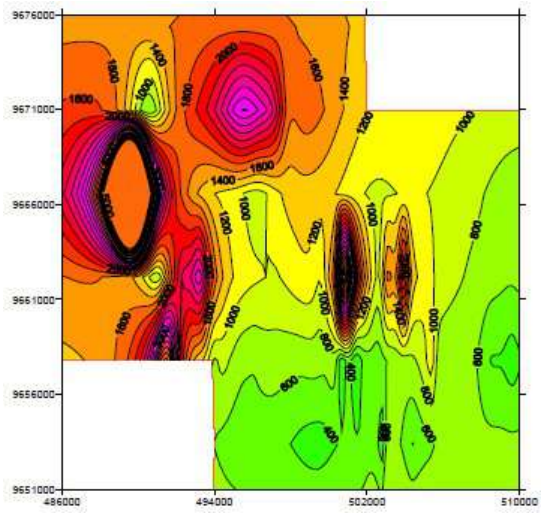


Figura 3. Método de distancia inversa a potencia, para la serie completa de datos, con abertura de malla de 1 m.

En la Norma IRAM 2281-1 Anexo B, se muestra un mapa orientativo de la República Argentina con valores típicos de resistividad del suelo a profundidad de hasta 5 metros aproximadamente. Los valores son promedios típicos locales en $\Omega \cdot m$. Adicionalmente se advierte que los valores de resistividad señalados son solamente orientativos,y no deben ser utilizados para el cálculo, ni para el diseño del sistema de puesta a tierra.

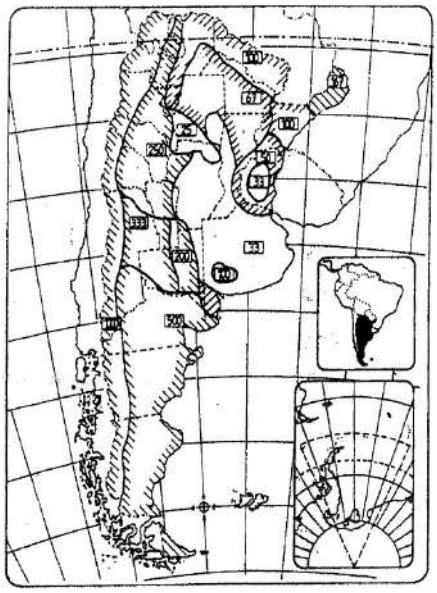


Figura 4. Mapa con valores orientativos de resistividad, según Norma IRAM 2281-1 Anexo B

Figura 5. Detalle de la provincia de Santiago del Estero.

AGUA Y ENERGÍA ELÉCTRICA S.E. realizó un estudio de suelos en el año 1995, en diversas localidades como ser Capital, Vilmer, Beltrán, Forres, Fernández, Taboada, Suncho Corral, Yuchán, Quimilí, Matará, Añatuya. En cada una de estas zonas se obtuvieron datos de resistividad delsuelo, compacidad, coeficiente de compresibilidad, entre otros, para las profundidades de 1 a 5 metros.

3 PLANIFICACION DEL TRABAJO DE CAMPO

Como ya se mencionara antes, se procedió a realizar las mediciones delos valores de

resistividades eléctricas del suelo,en forma directa, en los diferentes puntos del territorio de la provincia de Santiago del Estero.

3.1 *Instrumental a utilizar*

El instrumento de medición de puesta a tierra y resistividad, utilizado en este trabajo, es el Telurímetro digital de frecuencia industrial METREL MI-2124, mostrado en Fig. 6, y cuyas características principales son:
Mide con 2 jabalinas, 4 jabalinas, 2 jabalinas más 1 pinza o 2 pinzas (sin jabalinas).Amperímetro (con pinza opcional: h/200 A). Alta inmunidad al ruido. Apagado automático. Alcance: 0 - 20 kΩ (resolución 0,01 Ω). Memoria: 1000 mediciones. Interface RS232 (software y cable de comunicación: opcional).

Figura 6. Telurímetro METREL MI2124

El Medidor de Puesta a Tierra (Telurímetro) METREL MI-2124, es un instrumento profesional, portátil, alimentado por batería interna, pensado para llevar a cabo las mediciones de Resistencia a Tierra de acuerdo con el standard de la CE EN 61557-5.
En el proceso de medición de resistividad (ρ) del suelo, se entierran las cuatro jabalinas de prueba a una distancia igual a "a", y a una profundidad de 5% de "a". Ver Fig. 7.
La resistividad ρ(Resistencia de Tierra específica), se calcula con la ecuación (1).

$$\rho = 2\,\pi\,a\,R \qquad (1)$$

Donde:

a: la distancia entre dos jabalinas (en metros).
R: la resistencia del terreno ubicado entre las dos jabalinas.

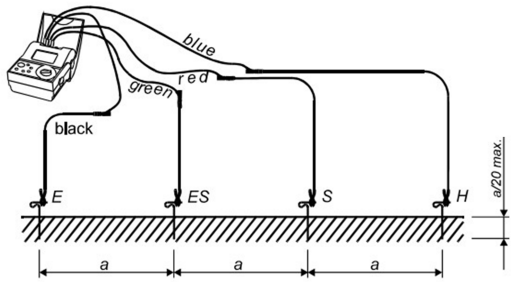


Figura 7. Conexión de las jabalinas

Este instrumento es de propiedad del Instituto de Tecnologías Aplicadas de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías de la UNSE.

4 ANALISIS E INTERPRETACION DE LAS MEDICIONES DE RESISTIVIDAD EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Las informaciones de las mediciones de campo fueron procesadasa partir de la elaboración de una planilla de cálculo Excel, con los datos de las resistividades eléctricas, con sus correspondientes geolocalización, de los puntos de medición. Para posteriormente realizar su adecuación para el uso de los softwares Google Earth, Qgis y Surfer.
Para realizar el análisis de la información obtenida se procedió, en primer lugar, a la ubicación en Google Earth de los puntos de las mediciones realizadas, incorporando archivos KMZ con sucorrespondiente referencia geográfica. A partir de esto se procedió a verificar la ubicación delos puntos extraídos de laplanilla Excel. Posteriormente, se delimito el área que involucra a las mediciones de campo, mediante el empleo de Google Earth y la generación en ese espacio geográfico de un archivo de puntos, para la obtención de datos de elevación (cotas topográficas) y posterior elaboración de curvas de nivel.
Mediante el uso del software Surfer y la elaboración previa de una tabla Excel, con datos de ubicación de puntos de mediciones de resistividad, en coordenadas planas y los valores medios de resistividad, se obtuvieron los gráficos correspondientes a la ubicación de:

4.1*Zona de estudio*

Se estudia la zona sudoeste de la provincia de Santiago del estero. Ver Fig. 8.
Esta zona de la provincia en particular y como se mencionó anteriormente, se caracteriza por contar con variada diversidad de tipos de suelos de acuerdo a sus composiciones, observándose de esta manera suelos rocosos, suelos con yeso, suelos arenosos, suelos con elevada salinidad, etc.

Figura 8. Zona en la que se realizaron las mediciones

4.2*Puntos de ubicación de las mediciones*

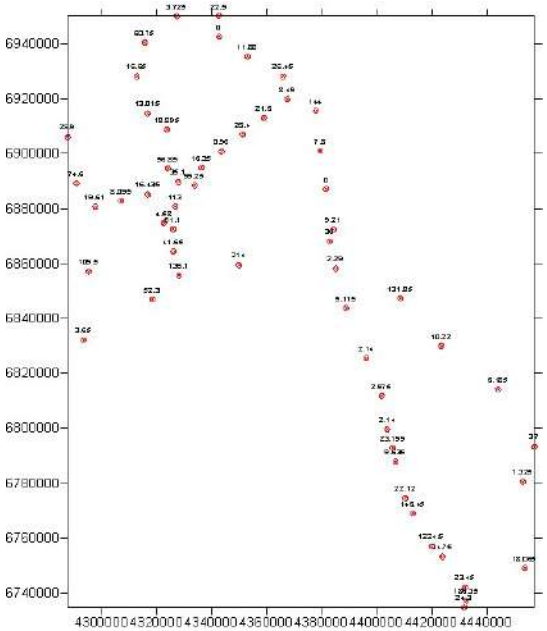


Figura 9: Ubicación de los puntos en coordenadas planas (m), con el valor de medición de resistividad

4.3 Curvas de isoresistividad y su distribución espacial en el área de estudio.

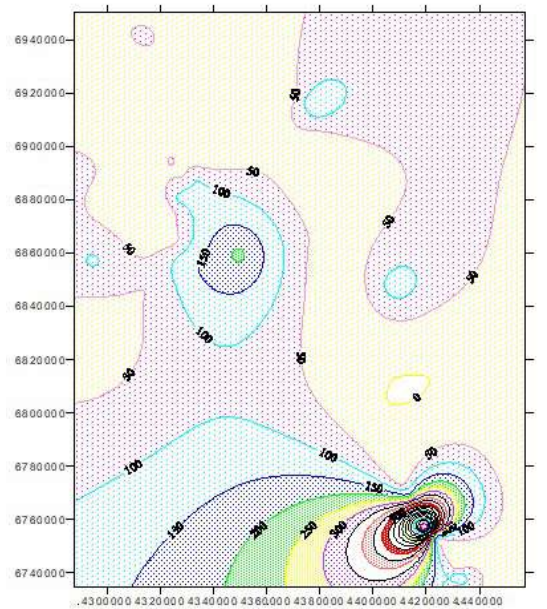


Figura 10. Curvas de isoresistividad (obtenidaspor interpolación mediante el software Surfer).

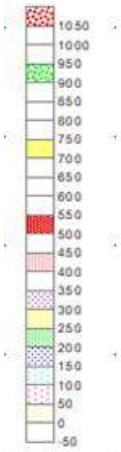


Figura 11. Leyenda de la escala de distribución de resistividades, correspondiente a la Fig. 10

4.4. Curvas de isoresistividad en imagen 3D

En la Fig. 12, se muestran la curvas de isoresistividad en 3D, obtenidas mediante la utilización de la herramienta, mapa de relieve, del software Surfer.

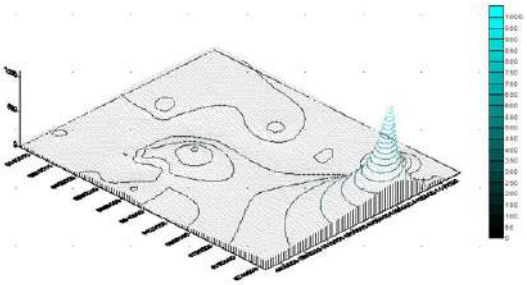


Figura 12. Curvas de isoresistividad, obtenida mediante el software Surfer.

4.5. *Curvas de nivel del Área de Estudio*

Las curvas de nivel se obtuvieron a partir de las coordenadas y valores de elevación del programa Google Earth. Se estableció un polígono que involucra al área de relevamiento para la representación de los datos. Posteriormente se generó un archivo KMZ que sirvió de base para la transformación mediante un software libre "GPS Visualizer" y posterior uso del software libre Qgis 3.55.5 (Sistema de Información Geográfica).

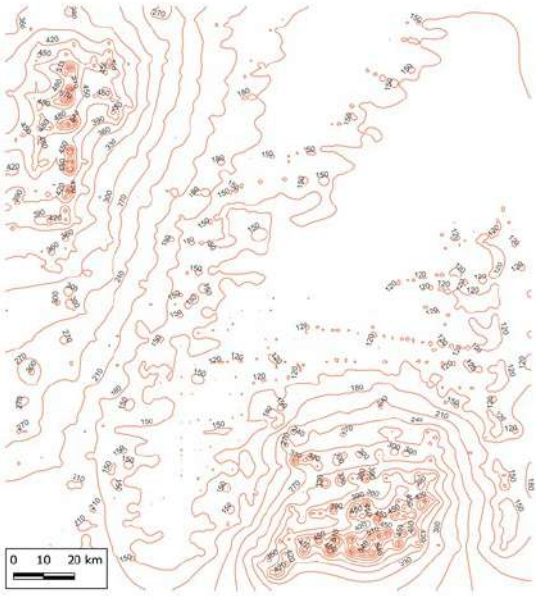


Figura 13. Curvas de nivel

4.6.*Interpretación de los Resultados*

Los resultados obtenidos en campo, y la representación gráfica de los mismos permitieron identificar zonas con valores de resistividad que pueden ser zonificados y considerados para establecer áreas de resistividad que ponen de manifiesto el comportamiento del subsuelo en relación a este parámetro, tal es así que las áreas con valores bajos se corresponden con materiales de tamaños menores y los valores altos a materiales de tamaños mayores. Cabe destacar que este comportamiento se corresponde también directamente con las características topográficas del área estudiada.
Un claro ejemplo de lo expresado está representado por la resistividad de la grava que es superior a la de la arena y ésta sea mayor que la de la arcilla. El contenido de agua y la humedad influyen en forma apreciable. Su valor varía con el clima, época del año, profundidad y el nivel freático.

Respecto a las conexionesde puesta a tierra; lo ideal es tener una resistencia de cero ohmios. No existe un único umbral estándar de resistencia de conexión a tierra, que sea reconocido por todas las empresas de servicio de distribución de electricidad. Algunas empresas aconsejan un valor de resistencia de conexión a tierra de 5,0 ohmios o menos.

5 CONCLUSIONES

La presente investigación surgió como un proyecto de desarrollo y transferencia tecnológica, a fin de determinar una herramienta que sea de utilidad cuando se diseñan proyectos de ingeniería básica, respecto a sistemas de puesta tierra en la zona sudoeste de la provincia de Santiago del Estero.

Se tomaron 58 muestras a lo largo de toda la superficie con una densidad de una muestra cada 655 km^2. La resistividad del suelo varia a lo largo y ancho de toda la superficie relevada, estando directamente relacionada con su ubicación geográfica.

Se procesaron los datos de las muestras tomadas en campo, mediante el uso de software Google Earth, Qgis y Surfer, los cuales permitieron alcanzar los objetivos de modelizar la variabilidad espacial de las propiedades eléctricas del suelo en diferentes zonas de la provincia.

El resultado de este procesamiento permitió confeccionar una carta-mapa de resistividad de suelos de aproximadamente un cuarto de la provincia. La misma contribuye a generar una nueva herramienta que facilite la toma de decisiones en el rubro de diseño de sistemas de puesta a tierra, disminuyendo la incertidumbre en los procesos de cotización de proyectos y determinar la densidad de muestras necesarias que permitan el cálculo con un nivel de error aceptable.

6 AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la inestimable colaboración del Licenciado Walter Trejo en la confección de los gráficos de resistividades.

7 REFERENCIAS

Alarcón, J. E., Martínez-Carvajal, H. (2011) *Caracterización espacial de la variable resistividad eléctrica en el municipio de Envigado,* Colombia. University of Brasilia, Brazil, 2011.

Nilton de Souza, C. y otros (2004). *Comparação entre mapas de isorresistividades elétricas aparentes do solo superficial de Manaus, a partir de séries de dados completos e estatísticos*. Universidade Federal do Amazonas, Brasil.

Juan David Cárdenas Valencia - Esteban Galvis Garcia (2011) Manual para la interpretación del perfil de resistividad obtenido al realizar el estudio de la resistividad del suelo a partir de las configuraciones del Método De Wenner. Universidad Tecnológica De Pereira, Colombia.

Natalia Pérez García y otros - Publicación Técnica No. 325 (2010) Evaluación de la resistividad en campo y en laboratorio y su aplicación a pavimentos. Instituto Mexicano Del Transporte - México

J. Hildemaro Briceño M. (2015) Manual Para La Medición De Resistividad Del Suelo University of the Andes (Venezuela)

Estudio de la influencia de la parte estructural de un equipo de lecho fluidizado en la pérdida de carga del proceso

Salcedo,Gustavo A.[1,3]; Tarifa, Enrique E.[2,3]; Lescano, Lara V.[1]; Rosas, Domingo A.[1]; Herrera, Facundo E.[4]; Coronel, Eve L.[1]

(1) Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero.
lescanolaravaleria@gmail.com; inge.rosas@yahoo.com.ar; ecoronel@unse.edu.ar
(2) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.
eetarifa@fi.unju.edu.ar
(3) CONICET.
gusalc2.92@gmail.com
(4) Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero.
facueherrera12@gmail.com

RESUMEN

El lecho fluidizado presenta numerosas aplicaciones industriales. El objetivo de la presente investigación fue el análisis de la interferencia generada por un equipo de lecho fluidizado sobre la pérdida de carga del proceso. Se utilizó un equipo de lecho fluidizado bidimensional, y se empleóun dispositivo digital para medición de velocidad máxima y pérdida de carga. Se trabajó con dos esquemas, el primero consideró la pérdida de carga total debida a la contribución del lecho de partículas y del equipo vacío, y el segundo descontó la pérdida de carga del equipo vacío. El primer esquema presentó curvas con comportamiento anormal, debido a la interferencia de las paredes del equipo y la de la placa difusora. El segundo esquema presentó todas las regiones de la curva establecidas por bibliografía, y permitió la obtención de gráficas que relacionaron la pérdida de carga, la velocidad superficial y la frecuencia de trabajo, lo cual sirve de referencia para futuros experimentos con granos de soja que presenten la misma altura de lecho.

ABSTRACT

The fluidized bed has numerous industrial applications. The objective of the present investigation was the analysis of the interference generated by a fluidized bed equipment on the pressure drop of the process. A two-dimensional fluidized bed equipment was used, and a digital device was used to measure maximum velocity and pressure drop. Two schemes were used, the first one considered the total pressure drop due to the contribution of the particle bed and the empty equipment, and the second one discounted the pressure drop of the empty equipment. The first scheme presented curves with abnormal behavior, due to the interference of the equipment walls and the diffuser plate. The second scheme presented all the regions of the curve established by the literature, and allowed obtaining graphs that related the pressure drop, surface velocity and work frequency, which serves as a reference for future experiments with soybeans that present the same bed height.

Palabras claves:lecho fluidizado – pérdida de carga - interferencia.

Keywords: fluidized bed - pressure drop - interference.

1. INTRODUCCIÓN

La fluidización es una operación unitaria que permite el movimiento ascendente y descendente de partículas sólidas debido al flujo de un fluido, líquido o gaseoso, a través de dichas partículas (Lescano, 2021). Las partículas sólidas están soportadas sobre el difusor, una superficie perforada que permite el pasaje del fluido en forma ascendente (Moraes, 2021).

La capacidad operacional del lechofluidizado paraaproximarse a condiciones isotérmicas es unaventaja vigente de control de temperaturasobreotras maneras de conducir procesos asociados a transferencia de energía (Martínez et al., 2019). La fluidización permite un contacto más eficiente entre partículas, como así también entre las partículas y el fluido. La homogeneización de materiales generada tiende a mejorar la transferencia de calor y materia en el interior del equipo de lecho fluidizado, lo que permite trabajar en una gran variedad de aplicaciones, como reactores de craqueo, gasificación, carbonización y calcinación, adsorción y desorción, recubrimiento de partículas, enfriado y secado (Moraes, 2021). Según Sau (2007), otras aplicaciones constituyen el tratamiento de aguas residuales, las reacciones de biopelículas inmovilizadas, la cristalización, la gasificación y la quema de carbón y mineralessulfurados y el procesamiento de alimentos.

En un equipo de lecho fluidizado cónico, para determinar los regímenes de flujo, se utiliza la pérdida de carga del gas Δp entre la superficie y el fondo del material (Fang et al., 2020).

Cuando la velocidad superficial del gas v_s es baja, el lecho se encuentra en un estado estático, y Δp aumenta con v_s, hasta que esta última llega a un valor $v_s = v_{smf}$, conocida como velocidad mínima de fluidización, para la cual corresponde un valor estable $\Delta p = \Delta p_{mf}$, llamada caída de presión de fluidización incipiente (Fang et al., 2020).

Los parámetros Δp_{mf} y v_{smf}se utilizan en el estudio fluidodinámico del lecho fluidizado, a través de curvas que representan pérdida de carga Δp en función de la velocidad superficial en la base del cono v_s.

Los lechos fluidizados cónicos fueron objeto de estudio en diversos trabajos de investigación. Lescano (2021) realizó el diseño y la construcción de un equipo lecho cónico de chorro bidimensional continuo para el estudio de la fluidodinámica, aplicado a la deshidratación del plasma bovino. En este trabajo se determinaron parámetros como la pérdida de carga máxima del lecho de chorro, la

velocidad de mínima fluidización y el caudal mínimo de fluidización para diferentes diámetros de partículas del material inerte y diferentes alturas de lecho estático.

Torres Sciancalepore (2019) trabajó también con lecho fluidizado bidimensional, y tuvo como objetivo validar una metodología de estudio de la fase burbuja mediante la aplicación de fluidodinámica computacional (CFD), demostrando que esta herramienta posee gran potencial para el análisis de la fase burbuja de los lechos fluidizados.

Torres Irigoyen (2013) trabajó sobre un lecho tridimensional, y diseñó un proceso para la obtención de un snack listo para consumir a base de grano entero de soja en lecho fluidizado. Este autor realizó un estudio de la fluidodinámica del lecho en estado fijo y fluidizado, determinándose la velocidad de mínima fluidización y la velocidad operativa de fluidización.

En adición a lo anterior, Rodríguez Pérez (2021) modeló un secadero de lecho fluidizado combinando la dinámica de fluidos computacional y el método de elementos diferenciados para obtener información detallada del proceso.

Hamzehei (2011) aplicó técnicas de dinámica de fluidos computacional, e investigó la hidrodinámica de un secador de lecho fluidizado sólido de gas no reactivo bidimensional. Se aplicó un modelo euleriano multifluido que incorporó la teoría cinética de partículas sólidas para simular el comportamiento de estado no estacionario de este secador y se calcularon los coeficientes de intercambio de momento utilizando las funciones de arrastre de Syamlal-O'Brien. Además, este autor estudió el efecto del diámetro de las partículas sólidas y la velocidad superficial del gas sobre la hidrodinámica.

Martínez et al. (2013) estudió la optimización del secado y la inactivación de las condiciones de inhibidores lábiles al calor de la soja a través de un secador de lecho fluidizado, con el fin de acortar el tiempo de tratamiento y reducir las pérdidas en la calidad del producto final.

Barreira Moreno (2007) estudió el comportamiento hidrodinámico de un lecho fluidizado a partir de la velocidad de mínima

fluidización. El autorempleó dos métodos: el método de la pérdida de carga en el lecho y el método de la desviación típica de las fluctuaciones de presión. Además, se estudió la influencia de las propiedades de las partículas y la altura de relleno del lecho sobre la velocidad de mínima fluidización.

Sau et al. (2007) marcó cierta diferencia en el comportamiento fluidodinámico entre el lecho cilíndrico y cónico, y propuso modelos basados en análisis adimensionales para predecir la velocidad de fluidización mínima y la caída de presión máxima para lechos fluidizados cónicos gas-sólidos.

Jing et al. (2000) demostró que el ángulo del cono del lecho y la altura del lecho de partículas son los principales factores que influyen en la transición de régimen y la hidrodinámica del lecho de partículas. También analizó el mecanismo para la ocurrencia de la fluidización parcial y proporcionó una correlación entre la caída de presión del lecho cónico y la altura del lecho estancado en base a las mediciones experimentales.

Fang (2020) trabajó cambiando el tamaño de partícula y la masa del material para explorar sus efectos sobre la velocidad de fluidización mínima y la caída de presión de fluidización incipiente.

En el proceso global, el equipo representa una pérdida de carga considerable. Esto implica descontar de la pérdida de carga total, la pérdida de carga del lecho vacío. Lescano (2021) realiza este procedimiento para descontar la interferencia de la parte estructural del equipo. Peng y Fan (1997) también trabajan del mismo modo, presentando curvas de pérdida de carga neta en función de velocidad superficial. Fang et al. (2020) también descuenta la pérdida de carga del equipo vacío, sólo que trabaja con valores promedios de presión en cada una de las tomas del equipo.

Torrez Irigoyen (2013) corrige las mediciones de pérdida de carga en la región de lecho fijo, multiplicándolas por el factor de Coulson f_c. Este último toma en cuenta los posibles efectos de pared causados por el empaque del lecho en la zona cercana a las paredes del equipo.

En función de lo analizado, resulta necesario estimar cómo afecta el descuento de pérdida de carga del equipo vacío a las curvas que representan pérdida de carga Δp en función de la velocidad superficial en la base del cono v_s, teniendo en cuenta que además de las paredes del equipo, la placa difusora encargada de la distribución del aire en la parte inferior del equipo representa una resistencia al paso del aire considerable. Las mediciones se llevaron a cabo para un amplio rango de velocidad del aire.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. *Equipo experimental*

El equipo utilizado en este trabajo es un lecho fluidizado bidimensional cónico (Fig. 1). El dispositivo tiene una cámara rectangular de acero inoxidable. La parte inferior de la cámara tiene una base cónica conectada al tubo rectangular de entrada, de 0,035 m de ancho y 0,024 m de profundidad. En la parte superior, la cámara tiene una campana cónica conectada al tubo de escape de aire, también de acero inoxidable. La cámara posee una tapa frontal de vidrio templado sellada con caucho y silicona de alta temperatura.

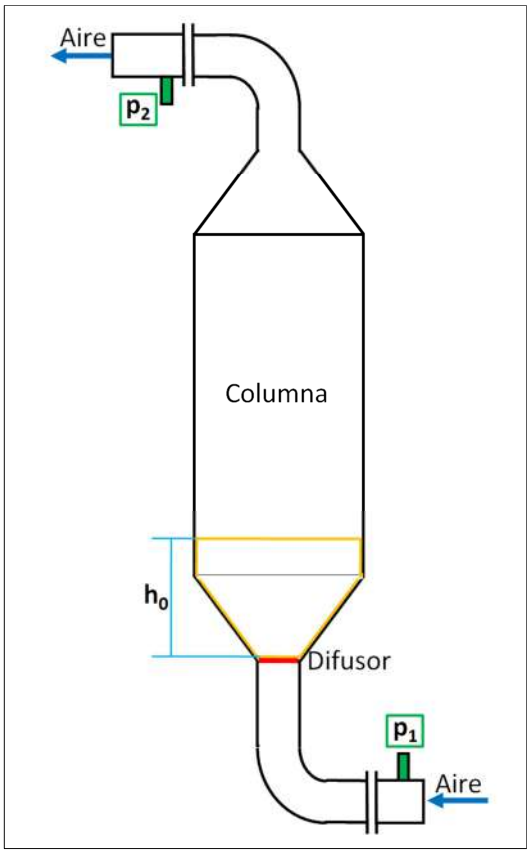


Figura 1. Esquema representativo del equipo experimental.

El aire ingresa a través de un tubo circular de acero inoxidable, que posee un diámetro interno

$D = 0{,}047$ m, unido a la parte inferior del equipo mediante una brida, y sale por la parte superior, a través de un tubo con las mismas características que el de la entrada.
El ancho de la cámara del equipo utilizado es $\alpha = 0{,}2$ m, y la profundidad es $\beta = 0{,}032$ m. La altura de la cámara es $\Upsilon = 0{,}7$ m.
El aire fue impulsado por un soplante centrífugo, accionado por un motor trifásico asociado a un variador de frecuencia.

2.2. *Materia prima*

Se colocó 485 g de granos de soja en el equipo de lecho fluidizado. Las dimensiones del grano se caracterizan por ejes, representados en la Fig. 2. La altura del grano es$E_3 = 5{,}25$ mm, y la profundidad es$E_1 = 6{,}55$ mm. El ancho del grano es $E_2 = 6{,}15$ mm.E_1, E_2 y E_3 representan valores promedio.La altura inicial del lecho es $h_0 = 150$ mm.

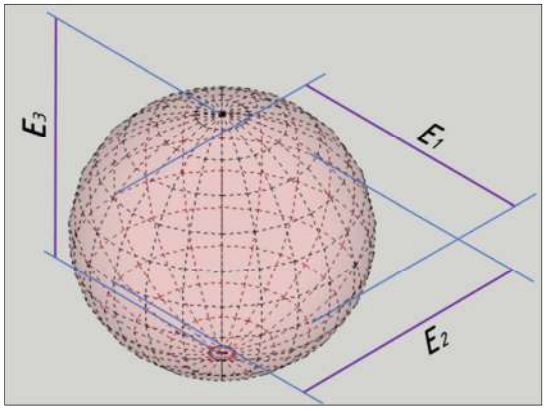


Figura 2. Distribución de los ejes representativos de las dimensiones del grano de soja.

2.3.*Rango de trabajo para lecho vacío*

La frecuencia *F* se varió en el rango de 5-40 Hz, tomando como valores intermedios múltiplos de 5 Hz. Se trabajó, en primer lugar, en orden de frecuencias crecientes, hasta $F = 40$ Hz y, a continuación, de manera decreciente, hasta $F = 5$ Hz. En cada valor fijado de *F*, se esperó un minuto para que el equipo alcanzara el estado estacionario, y luego se realizó la medición correspondiente de velocidad máxima y pérdida de carga. Las experiencias se desarrollaron a una temperatura de aire $T = 30\,°C$. La frecuencia no es un parámetro comúnmente considerado en este tipo de investigaciones, pero es la variable manipulable que permite modificar la velocidad de trabajo a través del equipo.

2.4. *Rango de trabajo para lecho fluidizado*

La frecuencia *F* se varió en el rango de 5-40 Hz. Se tomaron como valores intermedios múltiplos de 5 Hz, hasta $F = 30$ Hz. Las mediciones siguientes se tomaron con incrementos variables de$F$, hasta $F = 40$ Hz.A continuación, se trabajódisminuyendo F progresivamente en intervalos variables, hasta $F = 5$ Hz. En cada valor fijado de *F*, se esperó un minuto para que el equipo alcanzara el estado estacionario, y luego se realizó la medición correspondiente de velocidad máxima y pérdida de carga. Las experiencias se desarrollaron a una temperatura de aire $T = 30\,°C$.

2.5.*Instrumentación*

El instrumento de medición empleado fue el anemómetro digital de Pitot TROTEC TA400. Este equipo mide la velocidad máxima $v_{\text{máx}}$ en el centro del tubo recto de alimentación de aire, con la cual se calculó la velocidad promedio en el tubo v_{prom}. El anemómetro posee una precisión de $\pm 2{,}5\%$ a 10 m/s, una resolución de $0{,}01$ m/s y un rango de medición de $1 - 80$ m/s. El mismo instrumento, cambiando el modo de medición, se utilizó para medir las pérdidas de carga Δp a través de las diferentes tomas de presión seleccionadas. Los resultados se expresaron en Pa. En este modo de medición, el instrumento posee una precisión de $\pm 0{,}3\%$, una resolución de 1 Pa y un rango de medición de $1 - 5000$ Pa.

2.6. *Cálculo de la velocidad en la base del cono*

En primer lugar, el tipo de régimen de flujo a través del tubo se determinó a través de la ecuación (1), con el cálculo del número adimensional de Reynolds N_{Re}.

$$N_{Re} = \frac{\rho v_{\text{máx}} D}{\mu} \qquad (1)$$

ρ es la densidad del aire, $v_{\text{máx}}$es la velocidad máxima en el interior del tubo, D es el diámetro interno del tubo ($D = 0{,}047\,m$), μ es la viscosidad del aire.
A 30 ºC, la viscosidad y densidad del aire son $1{,}86\times10^{-5}$ Pa s y $1{,}164$ kg/m^3, respectivamente (Mott, 2006).
Los valores medidos de $v_{\text{máx}}$ en el tubo correspondieron al régimen turbulento ($N_{\text{Re}} >$

4000). Se recomienda la ecuación (2) para determinar la velocidad promedio para ese tipo de régimen.

$$v_{\text{prom}} = \frac{v_{\text{máx}}}{1 + 1{,}43\sqrt{f_{\text{D}}}} \quad (2)$$

f_{D} es el coeficiente de fricción de Darcy.

El valor de f_D se calculó a partir de la ecuación (3), correspondiente a la expresión de Colebrook-White (Çengel y Cimbala, 2006).

$$\frac{1}{\sqrt{f_{\text{D}}}} = -2{,}0\ \log_{10}\left(\frac{\varepsilon/D}{3{,}7} + \frac{2{,}51}{N_{\text{Re}}\sqrt{f_{\text{D}}}}\right) \quad (3)$$

ε es la rugosidad absoluta, D es el diámetro interno del conducto.

Dado que se trabajó con una tubería lisa, la rugosidad relativa pudo despreciarse, quedando la ecuación (3) reducida a la ecuación (4), conocida como ecuación de Prandtl, a través de la cual se calculóf_{D} por el método iterativo de bisección.

$$\frac{1}{\sqrt{f_{\text{D}}}} = 2{,}0\ \log_{10}\left(N_{\text{Re}}\sqrt{f_{\text{D}}}\right) - 0{,}8 \quad (4)$$

La velocidad promedio en el tubov_{prom} se obtuvo por iteración. Para ello, se inicializó dicha variable con el valor medido $v_{\text{máx}}$. Luego, se calculó N_{Re}. Con ese valor en la ecuación (4), se calculó f_{D}. Con este último, se calculó un nuevo valor para v_{prom} con la ecuación (2). Las iteraciones se detuvieron al alcanzar un error relativo aproximado porcentual menor al 0,1 %.

Una vez obtenida v_{prom} en el interior del tubo, se procedió al cálculo de la velocidad superficial del aire en la base del cono.Esta última se define como la velocidad que existiría a través del lecho, si éste estuviera vacío (Foust, 2006). Dicho cálculo queda definido a través de la ecuación (5), conocida como ecuación de continuidad.

$$v_{\text{s}} = \frac{A_t v_{\text{prom}}}{A_c} \quad (5)$$

A_t es el área interna del tubo, A_c es el área de flujo de la base del cono.

La base del cono posee 0,024 m de ancho y 0,035 m de largo, dando un valor $A_c = 0{,}00084\ m^2$.

2.7. *Esquemas de trabajo*

El primer esquema trabaja con valores de pérdida de carga total, sin descontar la perteneciente al lecho vacío, como muestra la ec. (6). Este esquema responde a la denominación E1.

$$\Delta p = \Delta p_t \quad (6)$$

Δp_t es la pérdida de carga total, resultante de la contribución del equipo y del lecho de granos.

El segundo esquema trabaja con valores netos de pérdida de carga, la cual se calcula a través de la ecuación (7). Este esquema responde a la denominación E2.

$$\Delta p = p_1 - p_2 - \Delta p_{\text{v}} \quad (7)$$

p_1 es la presión a la entrada del equipo que contiene al lecho, p_2 es la presión a la salida del equipo que contiene al lecho y Δp_{v} es la pérdida de carga del equipo vacío, entre los puntos 1 y 2 del diagrama de la Fig. 1.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. *Esquema E1*

Las curvas obtenidas trabajando con la pérdida de carga total se ilustran en la Fig. 3. A medida que aumenta la frecuencia de trabajo del soplante *F* (Ida), incrementa v_{s}, y también lo hace Δp, pero la altura del lecho permanece invariable, hasta $v_{\text{s}} = 8{,}4\ \text{m/s}$. Cuando v_{s} se encuentra en el rango $8{,}4 - 8{,}6\ \text{m/s}$, el lecho presenta cierta inestabilidad, y los granos de soja comienzan a tener cierto movimiento, rotando sobre sus ejes, presentando cada vez menor resistencia al flujo de aire. Cuando $v_{\text{s}} = 8{,}6\ \text{m/s}$, los granos están más sueltos y presentan mayor movimiento, pero colisionan entre ellos. Este es el punto que presentó mayor pérdida de carga. Cuando $v_{\text{s}} > 8{,}6\ \text{m/s}$, la fluidización inicia. Lescano (2021) postula que la pérdida de carga Δp disminuye a un mínimo y luego se estabiliza, produciendo la expansión del lecho y aumentando la porosidad. Foust (2006) detalla el comportamiento del lecho fluidizado de manera similar. Las curvas obtenidas por Peng y Fan (1997), señalan también un decremento de la pérdida de carga en este punto. Sin embargo, las curvas obtenidas para el esquema E1 muestran un leve decremento de Δp para el rango de $8{,}6 - 18{,}9\ \text{m/s}$, con un aumento pronunciado cuando $v_{\text{s}} > 18{,}9\ \text{m/s}$, cuyos incrementos presentan una magnitud similar a los de la condición de lecho fijo. En base a ello, no se observa la estabilización planteada por Lescano (2021), ni el pico de Δp planteado por Foust (2006) y Peng y Fan (1997).

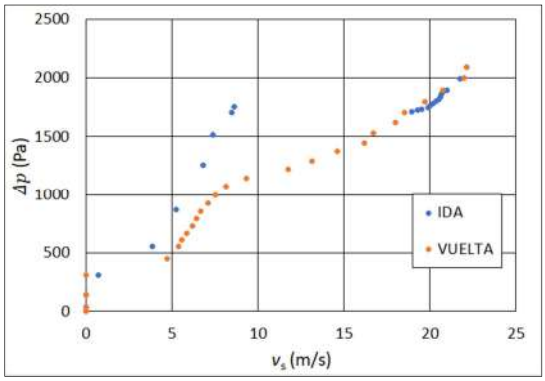


Figura 3. Pérdida de carga en función de la velocidad superficial para el esquema E1.

Cuando la frecuencia F comienza a decrecer (Vuelta), los granos de soja disminuyen su energía cinética y se acomodan en el fondo del equipo nuevamente, dando lugar a una porosidad diferente a la inicial, y finaliza con un lecho fijo con una altura $h = 153\,\text{mm}$. Se observó una disminución de Δp a medida que lo hizov_s, lo cual es coincidente con la bibliografía, sólo que presenta un falso resultado, ya que cuando se trabaja a frecuencias decrecientes, cada valor de Δp posee una componente debida al lecho y otra al equipo vacío. Cada una de estas componentes representa una relación lineal entre la Δp correspondiente y v_s, por lo cual cualquier decremento de Δp debida al lecho induce un decremento de Δp_t.

3.2. *Esquema E2*

La Fig. 4 expone las curvas obtenidas al trabajar con la pérdida de carga neta. Cuando se trabaja a frecuencia F creciente (Ida), en la condición de lecho fijo, se observa un incremento de Δp con v_s, hasta que se produce un equilibrio entre Δp y el peso de los granos, cuando $v_s = 8{,}4\,\text{m/s}$. La mayor pérdida de carga se presentó para $v_s = 8{,}4 - 8{,}6\,\text{m/s}$. A continuación, la curva exhibió una disminución notable de Δp, hasta llegar a un mínimo, cuyo valor fue $\Delta p = 657\,\text{Pa}$. Finalmente, se observó un leve incremento de Δp con v_s, concordando el comportamiento de la curvacon lo reportado en bibliografía.

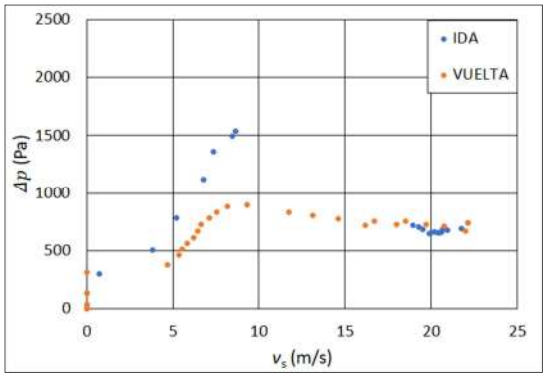


Figura 4. Pérdida de carga en función de la velocidad superficial para el esquema E2.

A valores de frecuencia F decrecientes (Vuelta), se observó una disminución de Δp a medida que lo hizo v_s, hasta llegar a $\Delta p = 0$. Estas variaciones en la pérdida de carga coinciden con lo reportado por Lescano (2021), Foust (2006) y Peng y Fan (1997).

Entre los diferentes esquemas se observaron diferencias en cuanto al comportamiento de las curvas, por lo tanto, se debe trabajar con la pérdida de carga neta planteada por el esquema E2.

3.3. *Relación entre variables*

Los datos experimentales del esquema E1 fueron procesados para poder relacionar las variables Δp, v_s y Fa través de curvas. La primera, representada en la Fig. 5, muestra cómo varía v_s con F, cuando se trabaja con frecuencias crecientes y decrecientes. La histéresis observada refleja que las condiciones de ida son diferentes al camino contrario.

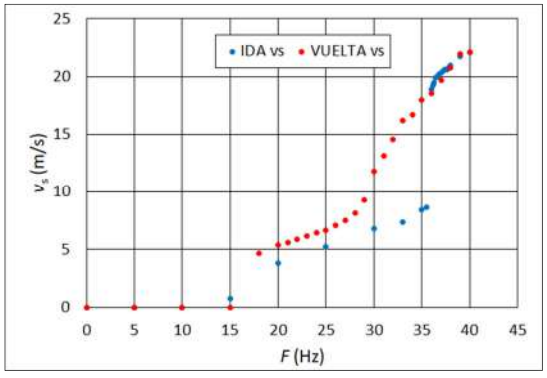


Figura 5. Velocidad superficial en la base del cono en función de la frecuencia de trabajo.

La Fig. 6 exhibe el comportamiento de Δp con F. Se observa un valor máximo de pérdida de carga netaen$F = 35{,}5\,\text{Hz}$, mientras que a continuación

se manifiestauna disminución, hasta un mínimo cuando $F = 36$ Hz.

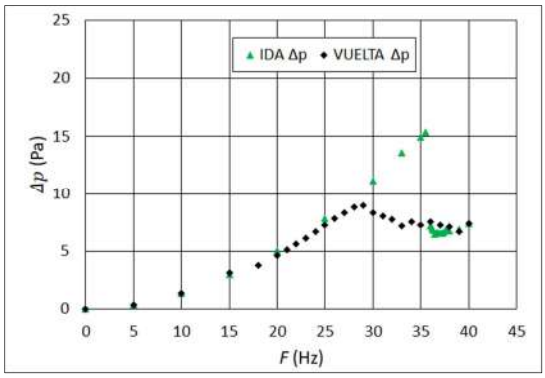


Figura 6. Pérdida de carga neta en función de la frecuencia de trabajo.

4. CONCLUSIÓN

Para el esquema E1, las curvas obtenidas presentan un comportamiento no coincidente con la bibliografía, ya que la pérdida de carga debida a las paredes del equipo y a la de la placa difusora se suman en cada punto experimental, generando interferencia.Por esta razón, no puede observarse la estabilización de la pérdida de carga ni el pico planteados, cuando se trabajó a frecuencias crecientes.

El incremento en la región de lecho fijo, el pico máximo, el valor mínimo, la estabilización y el posterior crecimiento de la pérdida de carga a frecuencias crecientes, se manifestaron para el esquema E2, mostrando concordancia entre el comportamiento de la curva y lo reportado en bibliografía.

Las gráficas representativas de las relaciones entre variables explican cómo se comportan la velocidad superficial en la base del cono y la pérdida de carga neta a frecuencias de trabajo crecientes y decrecientes, y sirven de referencia para futuros experimentos con granos de soja que presenten la misma altura de lecho.

Por lo tanto, cuando se trabaje con el equipo de lecho fluidizado bidimensional, se descontará la pérdida de carga debida al equipo vacío, para trabajar con un valor neto.

5. REFERENCIAS

Barreira Moreno, V. M. (2007). Estudio hidrodinámico de un lecho fluidizado. Tesis de Grado, Universidad Carlos III de Madrid, España.

Çengel Y., Cimbala J. (2006). *Mecánica de Fluidos.* (1ª. ed.). McGraw-Hill.

Fang, S., Wei, Y., Fu, L., Tian, G., Qu, H. (2020). Modeling of the Minimum Fluidization Velocity and the Incipient Fluidization Pressure Drop in a Conical Fluidized Bed with Negative Pressure. *Applied Sciences*, 10, 1-19.

Foust, A. S., Wenzel, L. A., Clump, C. W., Maus, L., Andersen, L. B. (2006). *Principios de operaciones unitarias* (2ª. ed.). Programas Educativos, S. A. de C. V., México.

Hamzehei, M. (2011). CFD Modeling and Simulation of Hydrodynamics in a Fluidized Bed Dryer with Experimental Validation. *International Scholarly Research Network*, 2011.

Jing, S., Hu, Q., Wang, J., Jin, Y. (2000). Fluidization of coarse particles in gas-solid conical beds. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. 39 (4), 379-387.

Lescano, L. V. (2021). Secado en lecho de chorro bidimensional para la deshidratación de proteínas de plasma de sangre bovina. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina.

Martínez, K., García, C., Gonzalez, J., Hernández, J., Carruyo, G. (2019). Correlation of Ri factors in beds of conic base for air-coal fluidization. *Revista Tecnocientífica URU*, 16, 39-50.

Martínez, ML, Marín, MA, Ribotta, PD. (2013). Optimization of soybean heat-treating using a fluidized bed dryer. *Journal of Food Science and Technology*. 50 (6), 1144-1150.

Moraes, D. M. (2021). Construção de um secador de grãos em leito fluidizado cônico e implementação de seus sistemas de aquisição de dados. Tesis de grado, Universidade Federal do Maranhão, Brasil.

Mott, R. L. (2006). *Mecánica de fluidos* (6ª. ed.), PEARSON EDUCACIÓN, México.

Peng, Y., Fan, LT (1997). Hydrodynamic characteristics of fluidization in liquid-solid tapered beds. *Chemical Engineering Science*. 52 (14), 2277-2290.

Rodríguez Pérez, H. (2021). Simulación CFD de la hidrodinámica de un reactor anaerobio de lecho fluidizado inverso. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Metropolitana, México.

Sau, D. C., Mohanty, S., Biswal, K. C. (2007). Minimum fluidization velocities and maximum bed pressure drops for gas-solid tapered

fluidized beds. *Chemical Engineering Journal*, 132, 151-157. https://doi.org/10.1016/j.cej.2007.01.036

Torres Sciancalepore, R. A. (2019). Estudio experimental y simulación por CFD de contactores fluidizados gas-sólido en régimen burbujeante. Tesis de Grado, Universidad Nacional del Comahue, Argentina.

Torrez Irigoyen, R. M. (2013). Diseño de un proceso térmico de fluidización para la producción de soja crocante. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.

Influencia de las tomas de presión en la pérdida de carga de un lecho fluidizado bidimensional

Salcedo, Gustavo A.[1,3]; Tarifa, Enrique E.[2,3]; Lescano, Lara V.[1]; Rosas, Domingo A.[1];Tkachuk, VladimiroN.[4]; Coronel, Eve L.[1]

(1) Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero.
lescanolaravaleria@gmail.com; inge.rosas@yahoo.com.ar; ecoronel@unse.edu.ar
(2) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.
eetarifa@fi.unju.edu.ar
(3) CONICET.
gusalc2.92@gmail.com
(4) Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero.
vladimiro.tkachuk@gmail.com

RESUMEN

El lecho fluidizado posee diversas aplicaciones industriales debido a las ventajas que presenta, y la presión es uno de los parámetros esenciales en esta operación, ya que permite establecer si el equipo se encuentra en un estado de funcionamiento normal. El objetivo de este trabajo es estimar cómo afecta la posición de las tomas de presión en codos, expansión y contracción a las mediciones de presión. Se trabajó con varios esquemas de tomas de presión en el equipo vacío. Posteriormente, se realizó el análisis de regresión de los valores experimentales, para la construcción de un modelo que relacione la pérdida de carga a través del lecho con la velocidad superficial del aire en la base del cono. Todos los puntos exhibieron resultados similares, mientras que las diferencias no significativas se asociaron a errores en la medición de la velocidad y a la contribución parcial de los elementos ubicados entre las tomas de presión. Los efectos de los cambios de formas fueron despreciables. Los modelos obtenidos por regresión podrán utilizarse cuando se desee conocer un valor de pérdida de carga ante un valor de velocidad superficial del aire en la base del cono, y viceversa, en las mismas condiciones de trabajo.

ABSTRACT

The fluidized bed has several industrial applications due to its advantages, and pressure is one of the essential parameters in this operation, since it allows to establish if the equipment is in a normal operating state. The objective of this work is to estimate how the position of the pressure taps in elbows, expansion and contraction affects the pressure measurements. We worked with several pressure tapping schemes in the empty equipment. Subsequently, a regression analysis of the experimental values was performed to build a model relating the pressure drop across the bed to the superficial air velocity at the base of the cone. All points exhibited similar results, while non-significant differences were associated with errors in the velocity measurement and partial contribution of the elements located between the pressure taps. The effects of shape changes were minimal. The models obtained by regression can be used when it is desired to know a value of pressure drop at a value of superficial air velocity at the base of the cone, and vice versa, under the same working conditions.

Palabras clave: lecho fluidizado, pérdida de carga, modelado.

Keywords: fluidized bed, pressure drop, modeling.

1. INTRODUCCIÓN

La mayoría de los estudios reportados sobre fluidización se han realizado en lechos cilíndricos, aunque un número significativo de lechos fluidizados empleados en la industria poseen paredes inclinadas o fondos cónicos.

El problema de los lechos cilíndricos radica en la alta velocidad de aire requerida para la operación, lo que provoca que las partículas sólidas sean separadas del lecho y transportadas fuera del equipo. Por lo tanto, el tiempo de residencia de las partículas es más corto, lo que afecta la calidad y cantidad del producto obtenido. Este problema se supera mediante el uso del lecho fluidizado cónico. Estos equipos presentan en la base de la columna una forma cónica (Lescano, 2021).

En este tipo de equipos, la velocidad superficial del aire disminuye gradualmente debido al aumento del área de la sección transversal con la altura del lecho, lo que garantiza una concentración relativamente baja de partículas grandes en la parte superior, evitando el arrastre de partículas pequeñas (Das et al., 2019).

Los lechos fluidizados cónicos se utilizan ampliamente en muchos procesos industriales, como el tratamiento de aguas residuales, las reacciones de biopelículas inmovilizadas, la incineración de desechos, el recubrimiento de partículas de combustible nuclear, la cristalización, la gasificación y la quema de carbón y minerales sulfurados, procesamiento de alimentos, entre otros (Sau et al., 2007). Las aplicaciones requieren el uso de partículas de clases A, B y D (Geldart, 1973).

La industria farmacéutica constituye otra aplicación de los lechos fluidizados cónicos, ya que poseen ventajas sobre otras alternativas. La distribución del tamaño de las partículas puede ser muy amplia debido al gradiente de velocidad axial del cilindro cónico. En segundo lugar, el estado fluidizado del lecho cónico es más estable que el del lecho cilíndrico porque la capa superior del cilindro cónico es más grande y puede absorber mayor cantidad de gas para evitar el fenómeno de *slug* (Fang et al., 2020).

El lecho fluidizado cónico asegura la mezcla adecuada de sólido y gas durante el proceso en el interior del equipo, una alta tasa de transferencia de calor y materia, baja inversión inicial, manejo sencillo y alta eficiencia energética (Das et al., 2019).Desde un punto de vista operativo, brinda un mejor control de variables y operación a lo largo de todo el proceso, pudiéndose mantener las mismas en amplios rangos para unproceso óptimo.

La estructura física del equipo permite una baja inversión inicial y un bajo costo de mantenimiento ya que no existen partes móviles (Mu'im Abdul Nasira et al., 2021).

La estabilidad y el flujo de un lecho de chorro dependen de su geometría, características del distribuidor de aire de entrada, tubo de aspiración o impulsión, según sea el diseño, y el ángulo del cono, entre otros(Batista, 2022).

La presión del gas es uno de los parámetros esenciales en un lecho fluidizado ya que permite establecer si el equipo se encuentra en un estado de funcionamiento normal (Bi, 2007).Por este motivo,l a pérdida de carga del gas (Δp) entre la superficie y el fondo del material siempre se usa para determinar los regímenes de flujo.

Para realizar la medición de esa pérdida de carga, se deben ubicar tomas de presión en el sistema. Dependiendo de la localización de esas tomas, la medición será función de varios factores además de las características del lecho en sí, como las características del equipo, de las tuberías y de los accesorios que se encuentran en el trayecto del gas desde una toma a la otra.

El sistema analizado en el presente trabajo es un equipo de lecho fluidizado cónico, el cual presenta varias tomas de presión ubicadas en distintos lugares. Algunas tomas se encuentran sobre tramos de tubos rectos, y otros sobre codos, expansiones y contracciones. Por lo tanto, existe más de un esquema posible para la medición de la diferencia de presión a través del equipo.

En la medición de la pérdida de carga del equipo en estudio, se deben considerar algunos aspectos que pueden afectar los resultados obtenidos. En primer lugar, existe más de una velocidad promedio de flujo debido a la presencia de una expansión (el cono de la base) y una contracción (la campana) en el equipo.

En segundo lugar, los patrones de flujo presentan ciertas irregularidades en la contracción y expansión, lo que genera cambios constantes en las presiones puntuales a lo largo de cada uno de estos accesorios.

En tercer lugar, la toma de presión en un codo también presenta anomalías ya que las fluctuaciones en este accesorio resultan principalmente por el flujo secundario causado por el fluido que fluye de la región de alta presión a la región de baja presión. Este flujo secundario se disipa cuando el fluido sale del codo. Además,

se presenta una zona muerta en la esquina aguda del codo. Se requiere energía para mantener el flujo secundario producido por la aceleración centrípeta (White, 2004) y el flujo en la región separada. Esta energía desperdiciada se mide en términos del coeficiente de pérdida (Potter, 2015). El codo posee un coeficiente de pérdida relativamente alto (Mott, 2006).

Conforme el fluido se mueve por la expansión, su velocidad decrece, y las paredes tienden a orientar el fluido durante su desaceleración y expansión de la corriente de flujo. Durante dicho proceso, en las paredes del cono de expansión, existe una zona de separación, que presenta cierta turbulencia que se encuentra en función del ángulo del cono (Mott, 2006). Se debe considerar los fenómenos ocurridos en la expansión, ya que, en este accesorio, aumenta la presión estática del flujo (White, 2004). En cuarto lugar, la contracción del equipo (la campana) consiste en una sección cónica con bordes afilados en las uniones. Además de la fricción con las paredes del equipo, se genera turbulencia local que ocasiona la separación del flujo, lo cual genera variaciones puntuales de presión (Mott, 2006).

La eficiencia del equipo se encuentra en función del diseño de la placa distribuidora y la geometría del lecho.

En función de lo analizado, resulta necesario estimar cómo afecta la posición de las tomas de presión alas mediciones de pérdida de carga. Para ello, con el equipo vacío, se trabajó con varios esquemas de tomas de presión. Las mediciones se llevaron a cabo para un amplio rango de velocidades de aire. Si el equipo contuviera material en su interior, la operación necesitaría la instalación de ciclones a la salida del mismo para la recuperación de sólidos arrastrados que conformarían el lecho.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. *Equipo experimental*

El lecho de chorro bidimensional, o de dos dimensiones, es una modificación del lecho de chorro convencional, y su importancia radica en que reduce al mínimo los problemas causados por ampliación de escala del lecho de base cónica (Lescano, 2021).

El equipo empleado en el presente trabajo es un lecho fluidizado bidimensional cónico (Fig. 1).Este equipo cuenta con una cámara rectangular de acero inoxidable. Esta cámara posee en su parte inferior una base cónica conectada con el tubo de entrada, el cual posee geometría rectangular, de 0,035 m de ancho y 0,024 m de profundidad. En la parte superior, la cámara posee una cubierta también cónica, que se encuentra conectada con el tubo de salida de aire construidos también en acero inoxidable. Para el cierre de la cámara, se dispone de una tapa delantera de vidrio templado que está sellada herméticamente con caucho y silicona de alta temperatura.

El aire ingresa en forma ascendente a través de un tubo circular de acero inoxidable, que posee un diámetro interno $D = 0{,}047$ m, unido al equipo mediante una brida, y sale por la parte superior, a través de un tubo con las mismas características que el de la entrada.

El ancho de la cámara del equipo utilizado es $\alpha = 0{,}2$ m, y la profundidad es$\beta = 0{,}032$ m. La altura de la cámara es $\Upsilon = 0{,}7$ m.

Este trabajo se desarrolló en su totalidad con el equipo vacío.

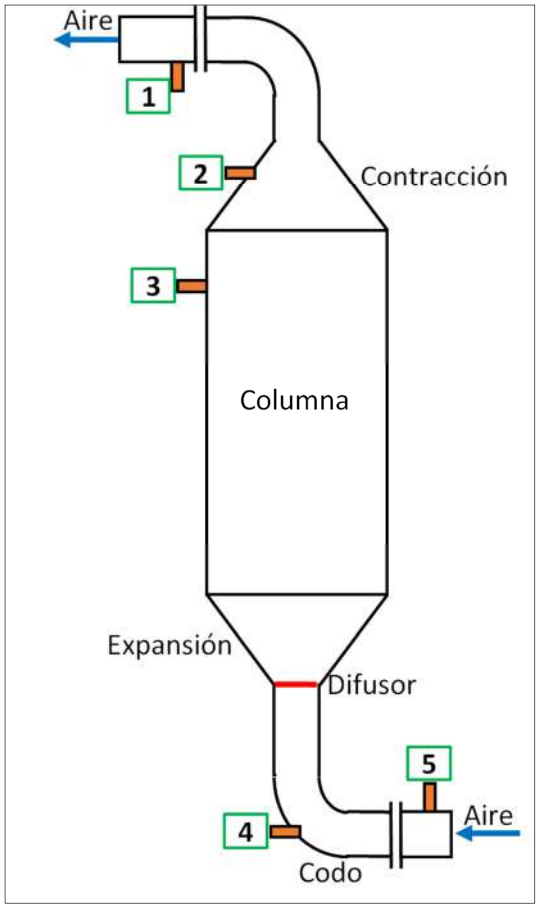


Figura 1. Esquema representativo del equipo experimental y ubicaciones de las tomas de presión numeradas del 1 al 5.

2.2. *Rango de trabajo*

En las experiencias realizadas, se trabajó con aire impulsado por un soplante centrífugo accionado por un motor trifásico. Un variador de frecuencia electrónico Marca SIEMENS modelo Sinamic G110 está conectado al motor del soplante y controla la velocidad del aire que este provee al equipo de lecho fluidizado bidimensional. La frecuencia F se varió en el rango de5-50 Hz, tomando como valores intermedios múltiplos de 5 Hz. Se trabajó, en primer lugar, en orden de frecuencias crecientes, hasta $F = 50\,Hz$ y, a continuación, de manera decreciente, hasta $F = 0\,Hz$. En cada valor fijado de F, se esperó un minuto para que el equipo alcanzara el estado estacionario, y luego se realizó la medición correspondiente de velocidad máxima y pérdida de carga. Las experiencias se desarrollaron a una temperatura de aire $T = 30\,°C$.

2.3.*Instrumentación*

El instrumento de medición empleado fue el anemómetro digital de Pitot TROTEC TA400. Este equipo mide la velocidad máxima $v_{\text{máx}}$ en el centro del tubo recto de alimentación de aire, con la cual se calculó la velocidad promedio en el tubo v_{prom}.El anemómetro posee una precisión de $\pm 2{,}5\%$ a $10\ \text{m/s}$, una resolución de $0{,}01\ \text{m/s}$ y un rango de medición de $1 - 80\ \text{m/s}$.El mismo instrumento, cambiando el modo de medición, se utilizó para medir las pérdidas de carga Δp a través de las diferentes tomas de presión seleccionadas. Los resultados se expresaron en Pa.En este modo de medición, el instrumento posee una precisión de $\pm 0{,}3\%$, una resolución de $1\ \text{Pa}$ y un rango de medición de $1 - 5000\ \text{Pa}$.

2.4. *Cálculo de la velocidad del aire en la base del cono*

En primer lugar, el tipo de régimen de flujo a través del tubo de alimentación se determinó con el cálculo del número de Reynolds Re, ecuación (1).

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \qquad (1)$$

ρ es la densidad del aire, v es la velocidad en el interior del tubo, D es el diámetro interno del tuboyμ es la viscosidad del aire.A 30 ºC, la viscosidady densidad del aire son 1,86×10^{-5} Pa s y 1,164 kg/m^3, respectivamente (Mott, 2006).

Los valores medidos de $v_{\text{máx}}$ en el tubo correspondieron al régimen turbulento ($Re > 4000$). Para ese tipo de régimen, se recomienda la ecuación (2) para determinar la velocidad promedio.

$$v_{\text{prom}} = \frac{v_{\text{máx}}}{1 + 1{,}43\sqrt{f_{\text{D}}}} \qquad (2)$$

f_{D} es el coeficiente de fricción de Darcy.

El valor de f_D se calculó a partir de la ecuación (3), correspondiente a la expresión de Colebrook-White (Çengel y Cimbala, 2006).

$$\frac{1}{\sqrt{f_{\text{D}}}} = -2{,}0\ \log_{10}\left(\frac{\varepsilon/D}{3{,}7} + \frac{2{,}51}{Re\sqrt{f_{\text{D}}}}\right) \qquad (3)$$

ε es la rugosidad absoluta yD es el diámetro interno del conducto.Dado que se trabajó con una tubería lisa, la rugosidad relativa pudo despreciarse, quedando la ecuación (3) reducida a la ecuación (4), conocida como ecuación de Prandtl, con la cual se calculóf_{D} por el método iterativo de bisección.

$$\frac{1}{\sqrt{f_D}} = 2{,}0\ \log_{10}\left(Re\ \sqrt{f_D}\right) - 0{,}8 \qquad (4)$$

La velocidad promedio en el tubo v_{prom} se obtuvo por iteración. Para ello, se inicializó dicha variable con el valor medido $v_{máx}$. Luego, se calculó Re con la ecuación (1). Con ese valor en la ecuación (4), se calculó f_D. Con este último, se calculó un nuevo valor para v_{prom} con la ecuación (2). Las iteraciones se detuvieron al alcanzar un error menor al 0,1 %.

Una vez obtenida v_{prom} en el interior del tubo, se procedió al cálculo de la velocidad superficial del aire v_s en la base del cono. Esta última se define como la velocidad que existiría a través del lecho, si éste estuviera vacío (Foust, 2006). Dicho cálculo queda definido a través de la ecuación (5), conocida como ecuación de continuidad.

$$v_s = \frac{A_t v_{prom}}{A_c} \qquad (5)$$

A_t es el área interna del tubo, A_c es el área de flujo de la base del cono.

2.5. *Ubicación de las tomas de presión*

En la Fig. 1 se observan los diferentes puntos de tomas de presión. En el primer grupo de experiencias realizadas, se midió la diferencia de presión entre los puntos 4 (codo) y 2 (contracción).A esta diferencia se la llamó Δp_1. En adelante, se empleará el código ΔP1 para designar a esta condición. Se estima que en este caso se presentará mayor irregularidad, debido no sólo a la presencia de dichos elementos, sino también a la posición de las tomas en el interior de los mismos.

En el segundo grupo de experiencias realizadas, se midió la diferencia de presión entre los puntos 4 (codo) y 3 (altura máxima en la condición de lecho fluidizado). A esta diferencia se la llamó Δp_2.El código que se asignó a esta condición fue ΔP2. En este caso, se eliminó la contracción brusca perteneciente al punto 2, por lo que se espera una mayor regularidad en los resultados.

Para el tercer grupo de experiencias realizadas, se midió la diferencia de presión entre los puntos 5 (tramo recto inicial) y el punto 1 (tramo recto final).A esta diferencia se la llamó Δp_3. El código asignado a esta condición fue ΔP3. En este caso, se esperan obtener las mayores pérdidas de carga, ya que las mediciones se realizan entre los puntos más alejados del equipo.

Por último, se midió la diferencia de presión entre los puntos 5 y 3. A esta pérdida de carga se la denomina Δp_4. El código asignado a esta condición fue ΔP4. Este esquema se considera que es el que está más libre de interferencias provocadas por turbulencias causadas por la forma del equipo.

Para cada esquema de toma, se tomaron mediciones por triplicado.

Tabla 1. Ubicación de las tomas para cada esquema.

Esquema	Toma inferior	Toma superior
ΔP1	4	2
ΔP2	4	3
ΔP3	5	1
ΔP4	5	3

2.6. *Modelado del comportamiento de los datos experimentales*

Con los resultados obtenidos en las experiencias realizadas, se crearon gráficos con los valores de Δp en el eje de las ordenadas, y de v_s en el eje de las abscisas. Estos gráficos incluyen puntos experimentales de frecuencia creciente y decreciente para cada esquema de ubicación de las tomas.

En primer lugar, se verificó la ausencia o presencia de ciclos de histéresis; es decir, se analizó la coincidencia o no, respectivamente, entre los valores experimentales en las corridas de frecuencia creciente y decreciente.

Ante la ausencia de ciclos de histéresis, se procedió al análisis de regresión de los valores experimentales, para construir una curva de ajuste mediante Microsoft Excel, y obtener un modelo que permita relacionar la pérdida de carga Δp a través del equipo con la velocidad superficial del aire en la base del cono v_s para cada esquema de toma de presión. Cada ensayo consistió en 21 datos experimentales. Dado que se realizaron las experiencias por triplicado, se obtuvo un total de 63 datos experimentales para cada esquema de toma de presión. Posteriormente, se procedió a colocar los 63 datos en un gráfico, y realizar un análisis de regresión de los mismos, para posteriormente formular un modelo que represente la relación existente entre Δp y v_s en el lecho vacío. Este procedimiento se aplicó para cada esquema de toma de presión.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. *Pérdida de carga en función de la ubicación de las tomas de presión*

En cada una de las diferentes condiciones de medición descriptas en la sección anterior,no se observaron diferencias en las curvas obtenidas a frecuencias crecientes y decrecientes.

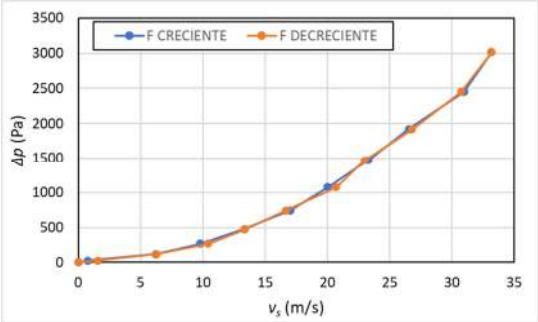


Figura 2. Resultados aislados de pérdida de carga para ΔP1. Fuente: Elaboración propia.

La condición ΔP1no presentó irregularidades en la curva, ya que los valores Δp_1 obtenidos a frecuencia creciente (ida) se aproximaron a los presentados a frecuencia decreciente (vuelta), lo que dio como producto 2 curvas superpuestas, como se observa en la Fig. 2.Se observa una mínima desviación cuando $v_s = 20\ \mathrm{m/s}$,lo cual puede asociarse con un error en la medición de la velocidad. El valor deΔp_1 resulta de la suma de las pérdidas de carga presentadas en el codo, en la expansión y en la contracción del equipo. Con esta primera curva, se puso en evidencia que la ubicación de las tomas de presión no afecta la uniformidad de las mediciones.

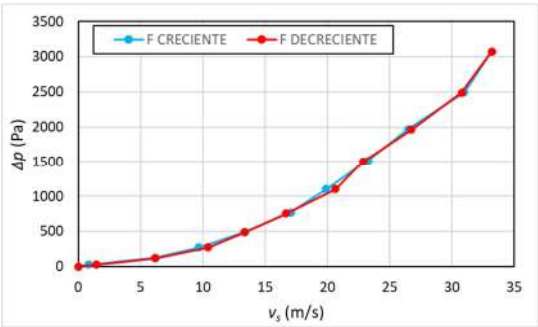


Figura 3. Resultados aislados de pérdida de carga para ΔP2. Fuente: Elaboración propia.

En la condición ΔP2 (Fig. 3), se observó el mismo comportamiento que el observado para ΔP1 en las curvas a frecuencias crecientes y decrecientes, obteniendo también 2 curvas superpuestas. En este caso, la medición se realiza antes de la contracción; sin embargo, no se observa un cambio apreciable con respecto a la medición realizada con el esquema anterior.

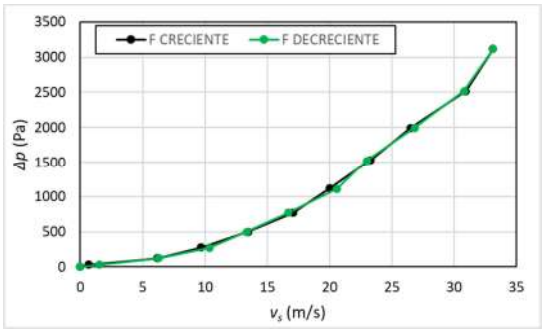


Figura 4. Resultados aislados de pérdida de carga para ΔP3. Fuente: Elaboración propia.v_s

Los valores más altos de Δpse obtuvieron con la condición ΔP3 (Fig. 4),ya que las tomas de presión se encuentran en las ubicaciones extremas del equipo, contemplando en su interior dos codos, una expansión y una contracción.Los valores Δp_3 obtenidos a frecuencia creciente (ida) concordaron con los presentados a frecuencia decreciente (vuelta), lo que dio como producto una curva sin ciclos de histéresis.El sistema se considerócomo una caja negra, en la cual sólo se tuvieron en cuenta la entrada y la salida a través de tubos rectos, mientras que los accesorios intermedios (codos, expansión y contracción) sólo contribuyeron a la suma de la pérdida de carga total del equipo.

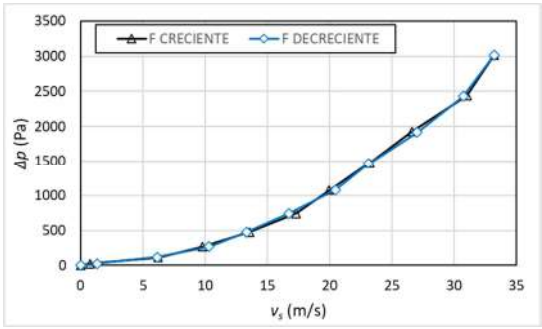


Figura 5. Resultados aislados de pérdida de carga para ΔP4. Fuente: Elaboración propia.

Para ΔP4 (Fig. 5), se observó uniformidad en las curvas a frecuencias crecientes y decrecientes.
Por lo tanto, ningún esquema presentó ciclos de histéresis.
La Fig. 6 representa los resultados de todos los esquemas. Se observa que todos los puntos exhiben resultados similares, sin embargo, las minúsculas desviaciones pueden deberse, en primer lugar, a errores en la medición de la velocidad máxima, un valor puntual que depende de la posición del tubo Pitot con respecto al tubo circular, y, en segundo lugar, a la adición o sustracción de elementos, como codos, expansión

y contracción, entre las tomas de presión. Por lo tanto, los efectos de los cambios de formas son despreciables cuando se trabaja con aire en un rango de velocidades y presiones como las del presente trabajo. Como se observa en la Fig. 6, los valores de los puntos experimentales presentan cierta superposición cuando se trabaja a frecuencias crecientes y decrecientes. Esta coincidencia puede deberse a que la pérdida de carga está ampliamente dominada por la presencia de la rejilla, como lo plantea Fang (2020), instalada en el difusor (Fig. 1), el cual es el único elemento con presencia constante en todos los esquemas analizados.

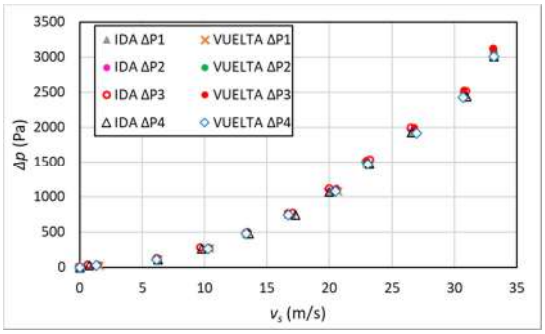


Figura 6. Pérdida de carga para todos los esquemas.

3.2. *Modelo de regresión*

Para cada esquema de toma analizado, aplicando regresión cuadrática, se obtuvieron los modelos que relacionan la pérdida de carga Δp a través del equipo de lecho fluidizado con la velocidad superficial en la base del cono v_s para lecho vacío(Fig. 7 a Fig. 10).

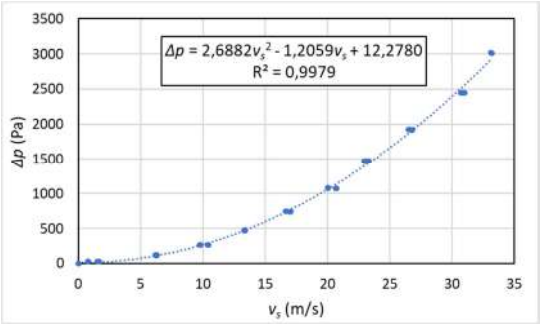


Figura 7. Regresión cuadrática para el esquema ΔP1.

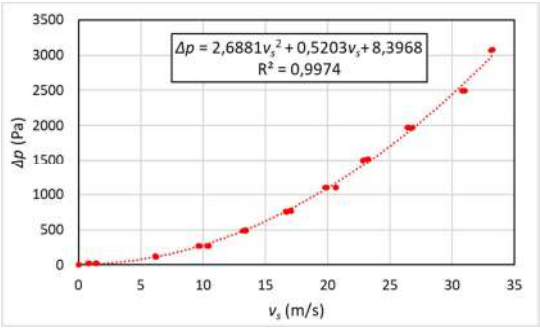


Figura 8. Regresión cuadrática para el esquema ΔP2.

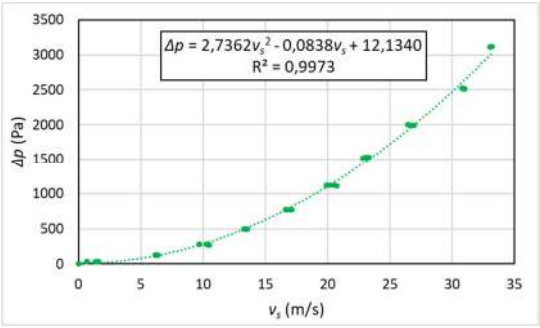


Figura 9. Regresión cuadrática para el esquema ΔP3.

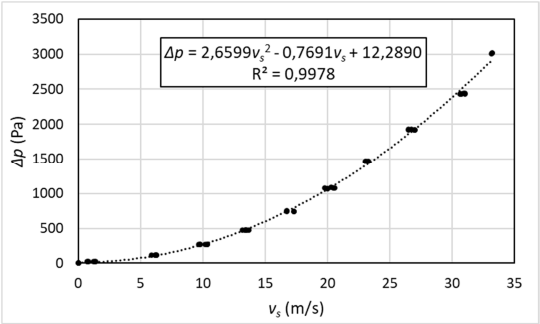


Figura 10. Regresión cuadrática para el esquema ΔP4.

Las curvas de regresión obtenidas mostraron un coeficiente de determinación elevado, con lo cual puede decirse que los modelos obtenidos pueden replicar los resultados, y poseen buena capacidadpara predecir la variación de la pérdida de carga ante una variación de velocidad superficial en la base del cono. Por lo tanto, los modelos podrán utilizarse cuando se desee conocer la pérdida de carga ante un valor de velocidad superficial en la base del cono, y viceversa, en las condiciones experimentales del presente trabajo. Los modelos resultan importantes para trabajar a posteriori, cuando se desee conocer la pérdida de carga neta de un

determinado alimento en condiciones de lecho fijo y fluidizado en el equipo experimental.

4. CONCLUSIÓN

Todos los esquemas exhibieron resultados similares. Las desviaciones observadas no fueron significativas, y las mismas pueden deberse a errores en la medición de la velocidad máxima, que depende de la posición del tubo Pitot con respecto al tubo circular, o de la adición o sustracción de elementos, como codos, expansión y contracción, entre las tomas de presión. La coincidencia observada en las mediciones realizadas con distintos esquemas de tomas presión puede deberse a que la rejilla del difusor es el elemento controlante de la pérdida de carga. Por lo tanto, decidir por uno u otro esquema de toma de presión es indistinto, ya que los resultados serán similares.

Debido a la ausencia de ciclos de histéresis en todos los esquemas, se pudo realizar el modelado correspondiente a cada uno. Las curvas de regresión permitieron obtener modelos con buena capacidad de predicción, los cuales podrán utilizarse cuando se desee conocer un valor de pérdida de carga ante un valor de velocidad superficial del aire en la base del cono, y viceversa, en las condiciones experimentales del presente trabajo.

5. REFERENCIAS

Bi, H.T. (2007). A critical review of the complex pressure fluctuation phenomenon in gas-solids fluidized beds. *Chemical Engineering Science*, 62, 3473–3493.

Batista, JNM, Bettega, R. (2022). Evaluación del efecto de la geometría del cono en la dinámica de fluidos del lecho en chorro mediante simulación CFD-DEM. Tecnología de secado. 40 (10), 2073-2086.

Çengel Y., Cimbala J. (2006). *Mecánica de Fluidos.* (1ª.ed.). McGraw-Hill.

Das, HJ, Mahanta, P., Saikia, R. y Aamir, MS (2019). Performance Evaluation of Drying Characteristics in Conical Bubbling Fluidized Bed Dryer. *Powder Technology*. doi:10.1016/j.powtec.2020.06.051

Fang, S., Wei, Y., Fu, L., Tian, G., Qu, H. (2020). Modeling of the Minimum Fluidization Velocity and the Incipient Fluidization Pressure Drop in a Conical Fluidized Bed with Negative Pressure. *Applied Sciences*, 10, 1-19.

Foust, A. S., Wenzel, L. A., Clump, C. W., Maus, L., Andersen, L. B. (2006).*Principios de operaciones unitarias* (2ª. ed.). Programas Educativos, S. A. de C. V., México.

Geldart, D. (1973). Types of Gas Fluidization. *Powder Technology*. 7 (5), 285-292.

Lescano, L. V. (2021). Secado en lecho de chorro bidimensional para la deshidratación de proteínas de plasma de sangre bovina. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina.

Mott, R. L. (2006).*Mecánica de fluidos* (6ª. ed.), PEARSON EDUCACIÓN, México.

Mu'im Abdul Nasira, A., Roslia, MI, Takriffa, MS, Othmana, NTA y Ravichandarb, V. (2021). Simulación computacional de dinámica de fluidos de un secador de lecho fluidizado para el proceso de secado de residuos de médula de sagú. *Journal Kejuruteraan*. 33 (2), 239-248.

Potter, M. C., Wiggert, D. C., Ramadan, B. H. (2015).*Mecánica de fluidos* (4ª. ed.).Cengage Learning Editores, S. A. de C. V., México.

Sau, D. C., Mohanty, S., Biswal, K. C. (2007). Minimum fluidization velocities and maximum bed pressure drops for gas-solid tapered fluidized beds. *Chemical Engineering Journal*, 132, 151-157. https://doi.org/10.1016/j.cej.2007.01.036

White, F. M. (2004).*Mecánica de Fluidos.* (5a. ed.).McGRAW – HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S. A. U., España.

Producción de NH_3 mediante reactores de plasma frío para la reducción catalítica selectiva de gases de combustión

Sánchez Collado, Francisco E.[1]; Machin Ferrero, Lucas M.[1,2]; Mizuno, Akira[3]; Prieto, Graciela[1]; Robles, Norma L.[1,4]

(1) Departamento de Ingeniería de Procesos y Gestión Industrial, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán. fesanchezcollado@herrera.unt.edu.ar; lmachinferrero@herrera.unt.edu.ar; gprieto@herrera.unt.edu.ar; nrobles@herrera.unt.edu.ar

(2) CONICET NOA Sur, Tucumán.

(3) Toyohashi University of Technology, Japan. mizuno@eco.tut.ac.jp

(4) Instituto de Química del Noroeste (INQUINOA CONICET UNT), Tucumán, Argentina.

RESUMEN

La necesidad de disminuir la emisión de gases contaminantes derivados de la combustión en vehículos con motores diésel hace perentorio el diseño de estrategias superadoras, de sencilla implementación, bajos requerimientos técnicos y adecuadas condiciones de operación tendientes a alcanzar este objetivo. En la actualidad, los dispositivos diseñados para disminuir la emisión de NOx utilizan una solución acuosa de urea (DEF, *dieselexhaust fluid*) que se suministra periódicamente al vehículo y que ingresa como un *spray* en el reactor catalítico, donde se produce la conversión de los NOx en N_2 y agua, entre otros productos, siendo el NH_3 proveniente de la descomposición térmica de la urea el agente reductor. El reactor de plasma frío con descarga a través de barrera dieléctrica se presenta aquí como una opción interesante para su estudio ya que, en base a la estrategia de reducción catalítica selectiva, representa una buena alternativa para la producción de NH_3 utilizando urea sólida. Conforme a la cuantificación de NH_3 y HNCO generados en un intervalo de 1800 s y evidenciados por espectros de infrarrojo, la producción de NH_3 por cada 100 g de urea es mayor cuando se utiliza un gas húmedo como transportador.

Palabras claves: diésel - reducción emisión de NOx - FTIR – ambiente

ABSTRACT

The need to reduce the emission of polluting gases derived from the combustion in vehicles with diesel engines makes it imperative to design superior strategies, easy to implement, low technical requirements and adequate operating conditions to achieve this objective. Nowadays the devices designed to reduce NOx emissions use an aqueous urea solution (DEF, diesel exhaust fluid) that is periodically supplied to the vehicle and enters the catalytic reactor as a spray, where the conversion of the NOx in N_2 and water, among other products takes place, being NH_3 coming from the thermal decomposition of urea the reducing agent. The non-thermal plasma reactor with discharge through dielectric barrier is presented here as an interesting option to study since, based on the selective catalytic reduction strategy, it represents a good alternative to produce NH_3 using solid urea. According to the quantification of NH_3 and HNCO generated in an interval of 1800 s and evidenced by infrared spectra, the production of NH_3 per 100 g of urea is higher when a humid gas is used as a carrier.

Keywords: diesel - NOx emission reduction - FTIR - environment

1. INTRODUCCIÓN

La actividad antropogénica es una de las principales fuentes de emisión de compuestos gaseosos al ambiente que se forman durante la combustión de hidrocarburos provenientes de recursos fósiles. Entre los productos no deseados, los óxidos de nitrógeno (NOx) representan un importante desafío para la ciencia y la industria porque su formación es inevitable en los procesos de combustión a altas temperaturas, particularmente en vehículos que utilizan diésel y biodiesel como combustible, por lo que es necesario profundizar en el estudio de diferentes estrategias tendientes a disminuir la formación de estos contaminantes [1,2].

La Reducción Catalítica Selectiva (RCS) es una tecnología de control avanzado para reducir las emisiones de NOx a valores cercanos a cero en los gases de escape de los vehículos diésel. Cada fabricante de automotores tiene su propia tecnología con variantes en el tipo y la secuencia de los diferentes componentes que integran el sistema. El proceso RCS es la única tecnología capaz de reducir las emisiones de gases NOx a los niveles requeridos para dar cumplimiento a los estándares de emisiones futuras [3]. En este proceso, los NOx reaccionan con amoníaco inyectado en los gases de escape, antes de que estos ingresen al catalizador. Las reacciones en fase gaseosa que se llevan a cabo en el sistema RCS son:

$$NO + NO_2 + 2\,NH_3 \longrightarrow 2\,N_2 + 3\,H_2O \quad (1)$$

$$4\,NO + O_2 + 4\,NH_3 \longrightarrow 4\,N_2 + 6\,H_2O \quad (2)$$

$$2\,NO_2 + O_2 + 4\,NH_3 \longrightarrow 3\,N_2 + 6\,H_2O \quad (3)$$

El amoníaco que reacciona con los gases se obtiene a partir de urea, que puede agregarse en forma sólida, o mediante la inyección de una solución acuosa.

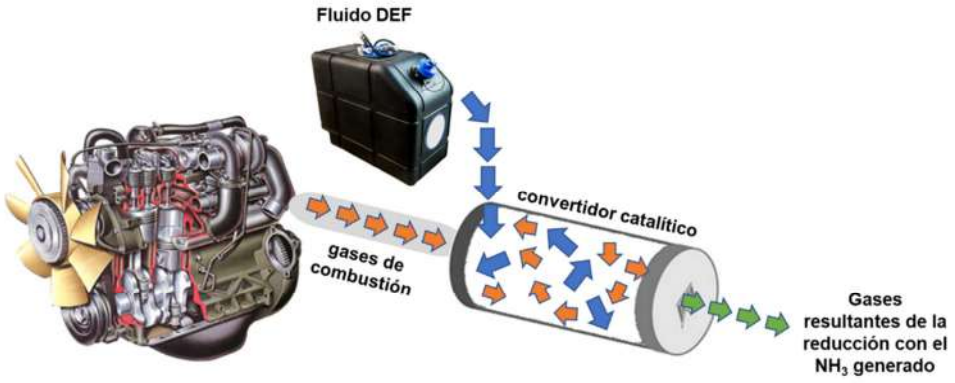


Figura 1. Esquema simplificado del funcionamiento de la tecnología RCS.

Las soluciones de urea en agua presentan un camino de descomposición produciendo amoníaco como producto principal (Eq. 4). El proceso global se esquematiza en la Fig. 1.

$$NH_2CONH_2\,(ac) + H_2O \longrightarrow 2\,NH_3 + CO_2 \quad (4)$$

Los gases calientes que salen del motor entran al sistema RCS en donde una solución acuosa de urea, conocida como fluido de escape diésel (DEF, Diesel Exhaust Fluid), es introducida en forma de spray en un reactor catalítico en donde se produce la conversión de los NOx en N_2 y agua (Eqs. 1-3), y muy pequeñas cantidades de CO_2 (Eq. 4). Esto ocurre en una atmósfera oxidante selectiva que reduce a los NOx empleando amoníaco como agente reductor. En la mayoría de los casos el consumo de DEF es alrededor del 3% del consumo de combustible. En los vehículos o maquinarias pesadas con sistema RCS, se presenta la necesidad de rellenar los tanques con fluido DEF periódicamente, dependiendo del régimen de operación del motor. En los vehículos livianos, la recarga con fluido DEF normalmente

ocurre coincidiendo con la de combustible, en un surtidor diferenciado. Este sistema de agregado de urea en solución requiere un almacenamiento adecuado para evitar el congelamiento del fluido DEF a temperaturas por debajo de los -11,11 ºC, muy comunes en muchos países del mundo.
Por otro lado, la descomposición de urea sólida en un gas inerte tiene lugar a temperaturas alrededor de 450 ºC, y produce volúmenes iguales de amoníaco y de ácido isociánico [4].

$$NH_2CONH_2(s) \longrightarrow NH_3 + HNCO \qquad (5)$$

En definitiva, para el proceso RCS es indispensable disponer de amoníaco presente en los gases de escape del motor antes de ingresar al catalizador.
Los reactores de plasma no térmico representan tecnologías emergentes y se han utilizado para eliminar NOx u otros contaminantes [5,6]. También se han investigado para inducir diversas reacciones químicas a bajas temperaturas. El mecanismo de reformado de urea a amoníaco usando plasma de descarga aún no se comprende bien, pero por analogía con otras reacciones químicas inducidas por plasma, se especula que el amoníaco se genera a través de varias reacciones químicas inducidas por radicales libres, ozono, luz ultravioleta, intensas reacciones locales, calentamiento debido al plasma de descarga, etc. [7], así como a través de la reacción descripta por la Eq 1. Recientemente, este grupo de trabajo ha reportado el estudio cinético de la reacción (5) empleando el método diferencial determinándose una cinética de primer orden para la conversión de urea en polvo a amoníaco a baja temperatura (100°C) [8].

El objetivo del presente trabajo está centrado en el desarrollo y análisis de un método alternativo para producción de amoníaco *in situ* empleando un Reactor de Plasma Frío del tipo de descarga a través de barrera dieléctrica (DBD, *dielectricbarrierdischargereactor*) [9].Además, se analiza si el reactor construido cumple con las hipótesis de funcionamiento del reactor diferencial para su modelado.

2. EXPERIMENTAL

El esquema del equipo experimental se muestra en la Figura 2. Consiste en un reactor de plasma del tipo DBD (1), un transformador de neón de alto voltaje (2), un medidor de potencia digital (3), un sensor de amoníaco (4) y un cilindro de nitrógeno o aire comprimido. En la Figura 3 se observa el detalle de los electrodos empleados. El reactor de plasma tiene un electrodo metálico plano horizontal cubierto por un plato cerámico de 2 mm de espesor, sobre el cual se coloca la urea en polvo, y apoyado en el plato se coloca el otro electrodo metálico formado por agujas de 20 mm de altura distribuidas en forma circular. El reactor es alimentado por un transformador de neón de alto voltaje y alta frecuencia (LECIP Co., Alpha M-5, 9kVo-p, 10kHz, 28mA máx.) monitoreado con un medidor de potencia HIOKI HiTESTER. Se emplea un transformador variable de 0 a 130 V para controlar el voltaje de entrada al transformador de neón. Se mide la temperatura de los gases efluentes con un termómetro de mercurio.

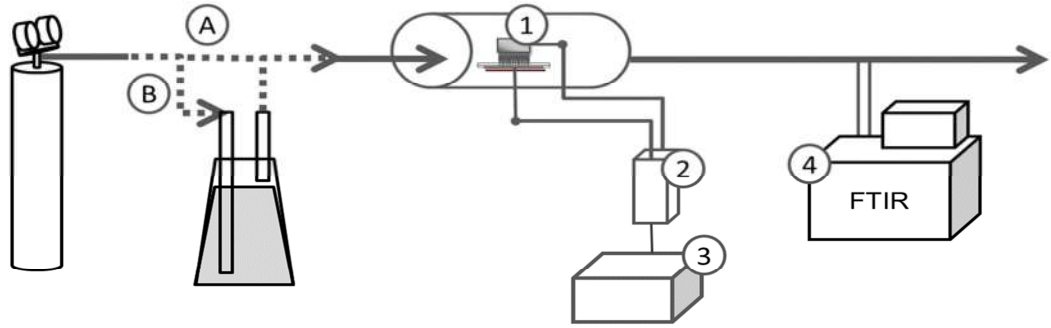


Figura 2. Esquema del equipo experimental. (A) Línea para el experimento con aire seco. (B) Línea para el experimento con aire húmedo. (1) Reactor de plasma del tipo DBD. (2) Transformador de neón de alto voltaje. (3) Medidor de potencia digital. (4) Detección de amoníaco por espectroscopía FTIR.

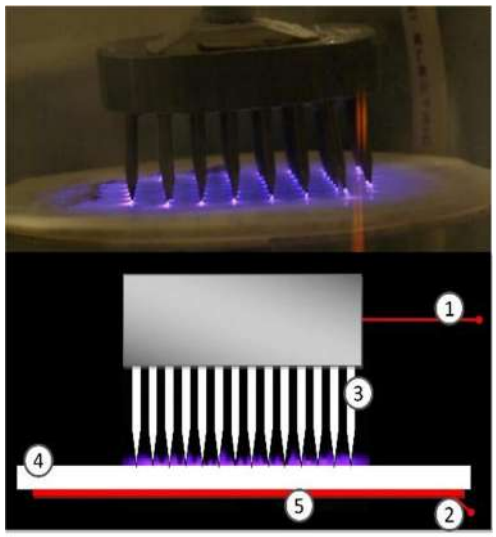


Figura 3. Electrodo del reactor tipo DBD. (1) Conector de alto voltaje para el electrodo de agujas. (2) Conector de alto voltaje para el electrodo de placa. (3) Electrodo de agujas. (4) Dieléctrico. (5) Electrodo de placa.

Las concentraciones de amoníaco y otros productos de reacción son controlados en línea mediante un FTIR (SESAM 3-N). Este modelo de FTIR se emplea para el monitoreo de gases efluentes de motores diésel y requiere una velocidad de flujo no inferior a 4 L/min. Se utiliza un flujo de aire como gas de arrastre, se alimenta al reactor un caudal de 2 L/min y a la salida del reactor un caudal de aire de 3 L/min para alimentar al FTIR con un caudal total de 5 L/min. El reporte es un dato por segundo de concentración expresada en ppm de cada uno de los productos que detecta.

La metodología de trabajo consiste en colocar la urea sobre el plato cerámico (160 mg), alimentar el gas de arrastre (aire con humedad o seco) y aplicar un voltaje constante (rango 105-115V) durante 1800 segundos. Para el caso de condiciones húmedas, se hizo burbujear en agua a temperatura ambiente. Las cañerías de gases fueron calefaccionadas con cinta calefactora [9].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados experimentales fueron obtenidos empleando un reactor NTP (Non Thermal Plasma). El lecho del reactor está constituido por un material dieléctrico para permitir que, aplicando un voltaje elevado (del orden de los Kilovoltios), se pueda generar plasma a temperatura ambiente a partir de un campo eléctrico muy intenso. Así, el plasma generado puede mantenerse sin que se produzca un cortocircuito entre los electrodos. El material dieléctrico puede presentar, en algunos casos, propiedades catalíticas que podrían sumarse a las del intenso campo eléctrico. Así como en un reactor catalítico heterogéneo en fase gaseosa, el volumen del reactor corresponde únicamente a lecho sólido-catalítico, en un reactor NTP el volumen del reactor sólo corresponde al espacio entre electrodos, donde se genera el plasma.

El presente reactor de plasma frío funciona como un reactor diferencial debido a que se hace pasar la corriente de gas con un tiempo de residencia muy pequeño: alta velocidad de flujo (4000 cm^3/min) en un volumen de reactor pequeño (20 cm^3), que representa un tiempo de residencia muy pequeño (0,005 min), y esto resulta en una conversión de reactantes extremadamente baja.

Consecuentemente, la velocidad de reacción es uniforme y la liberación de calor también es pequeña y despreciable, por lo que es lícito considerar que opera de forma isotérmica [10]. Los reactores diferenciales se emplean normalmente para determinar experimentalmente la velocidad de reacción en función de la concentración, razón por la cual este equipo permitiría realizar estudios cinéticos.

Los principales productos gaseosos obtenidos son NO_2, NH_3 y HNCO. El NO_2 es formado a partir del aire, mientras que el NH_3 y HNCO provienen de la descomposición de la urea. Los resultados

de los ensayos experimentales se muestran en la Figura 4 y en la Tabla 1. De acuerdo con el análisis de espectros FTIR reportados por Mededovic et al. [11] para la descomposición de urea mediante DBD empleando aire seco y húmedo como gas de arrastre, no hay diferencias en los subproductos formados en cada caso.

El punto de fusión de la urea medido fue 132,5 ºC, y no se detectó urea en fase gaseosa durante todo el proceso de pirólisis, indicando que su descomposición fue completa después de la fusión y antes de la gasificación.

Tabla 1.Variables de entrada y producción de amoníaco a la salida para el sistema urea/aire.

Variables de entrada			Datos de salida				
Aire	Voltaje [V]	Potencia [W]	Concentración total NH_3 [% v/v]	Concentración promedio NH_3 [ppm]	Volumen total obtenido [mL]	Moles de NH_3 producidos x 10^4	Gramos de NH_3 producidos/100 gramos de urea alimentada
Seco	115	34	27,33	227,71	18,23	7,59	8,06
Húmedo	115	33	38,17	318,08	25,46	10,59	11,26

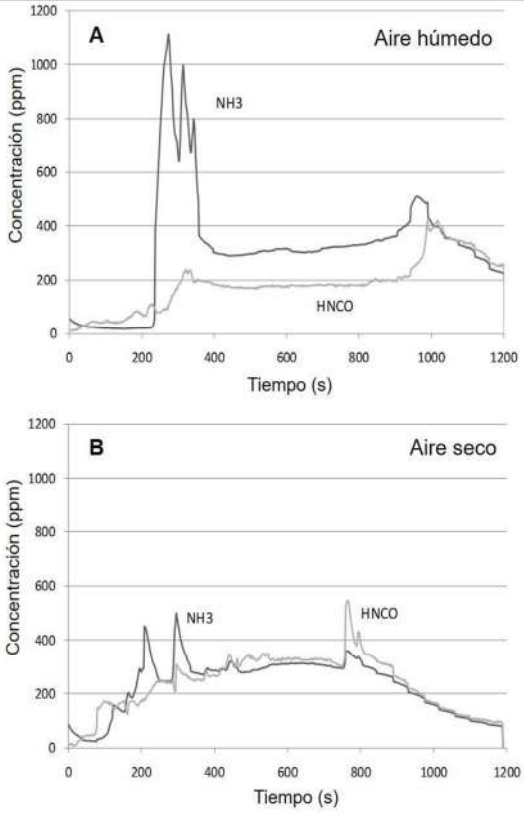


Figura 4. Perfiles de concentración (en ppm) de NH_3 y HNCO en función del tiempo (s) para las corridas experimentales: (A) Aire húmedo y (B) Aire seco.

Los perfiles de concentración en la Fig.4 presentan picos marcados que dan cuenta de discontinuidad en la producción de los distintos productos en el tiempo. Esto es así debido a que la urea sólida colocada en el plato recibe microdescargas provenientes del electrodo de agujas, las que provocan zonas de calentamiento puntual que funden localmente el sólido y generan un mayor número de moles de NH_3.

Por otro lado, el HNCO formado permaneció estable durante los ensayos, existiendo evidencia de su hidrólisis (Eq. 6) de forma leve, tal como fuera observado previamente en presencia y ausencia de agua y/o catalizadores [12].

$$HNCO + H_2O \rightarrow NH_3 + CO_2 \quad (6)$$

Los resultados obtenidos en este trabajo (Tabla 1) indican que para las mismas condiciones (igual valor de variables de entrada) la producción de NH_3 por cada 100 g de urea proporcionada en reactor de plasma frío se ve favorecida en un 40 % si el gas transportador está humedecido.

4. CONCLUSIONES

El diseño del reactor diferencial de plasma frío del tipo de descarga a través de barrera dieléctrica que se propone en este trabajo muestra la factibilidad de su aplicación para la producción de amoníaco *in situ* a partir de urea sólida y presenta las siguientes ventajas respecto del diseño en mercado: 1) evita los sistemas de dosaje de urea que incluyen bombas, inyectores, mezcladores y tanques de urea; 2) sustituye el empleo de DEF (solución acuosa de urea al 32%, no-tóxica y de grado automotor) para el cual se requiere un almacenamiento adecuado para evitar el congelamiento del fluido a bajas temperaturas.

Se evidencia que la presencia de humedad favorece la descomposición de la urea y del HNCO hacia la formación de más amoníaco. Este novedoso conjunto de electrodos resulta ser efectivo para producir NH_3 en una operación muy simple que no necesita preparación de soluciones de urea y puede iniciarse a temperatura ambiente, mostrando así muchas posibilidades de aplicación práctica para el tratamiento de gases de escape de motores diésel.

El comportamiento del reactor de plasma, en estas circunstancias, puede ser modelado como reactor diferencial principalmente por sus dimensiones reducidas, lo que implica tiempos de residencia pequeños. Esto permite su uso potencial como un esquema para la investigación futura más detallada del sistema reaccionante y su cinética química, como proyección del presente trabajo.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Proyecto PIUNT E-739 oportunamente otorgado por la Secretaría de Ciencia, Arte e Innovación Tecnológica de la Universidad Nacional de Tucumán y a la ToyohashiUniversityofTechnology, DepartmentofEnvironmental and LifeSciences por el trabajo experimental conjunto y por facilitarnos el equipamiento.

6. REFERENCIAS

[1] Doppalapudi,A.T., Azad, A.K., Khan, M.M.K. (2023) Advanced strategies to reduce harmful nitrogen-oxide emissions from biodiesel fueled engine. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,174, 113123. https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.113123

[2] Jin, C., Wei, J. (2023) The combined effect of water and nanoparticles on diesel engine powered by biodiesel and its blends with diesel: A review *Fuel*, 343 (1), 127940 https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.127940

[3] Selective Catalytic Reduction. Diesel Technology Forum. https://dieselforum.org/selective-catalytic-reduction-scr

[4] Koebel, M., Elsener, M., Madia, G. (2001) Recent Advances in the Development of Urea-SCR for Automotive Applications.*Spring* Fuels & Lubricants Meeting & Exhibition SAE International Fall Fuels & Lubricants Meeting & Exhibition. SAE Technical Paper 2001-01-3625. https://doi.org/10.4271/2001-01-3625

[5] Hsueh, M. H., Wang, C. N., Hsieh, M. C., Lai, C. J., Wang, S. H., Hsieh, C. H.,Yu, J. H. (2020). An analysis of exhaust emission of the internal combustion engine treated by the non-thermal plasma. *Molecules*, 25(24), 6041. https://doi.org/10.3390/molecules25246041

[6] Kim, H. H., Prieto, G., Takashima, K., Katsura, S., & Mizuno, A. (2002). Performance evaluation of discharge plasma process for gaseous pollutant removal. *Journal of Electrostatics*, *55*(1), 25-41. https://doi.org/10.1016/S0304-3886(01)00182-6

[7] Talebizadeh, P., Babaie, M., Brown, R., Rahimzadeh, H., Ristovski, Z., Arai, M. (2014). The role of non-thermal plasma technique in NOx treatment: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 886-901. https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.194

[8] Machín Ferrero, L.M., Prieto, G., Robles, N.L., Mizuno, A. (2021). Estudio cinético de la producción de amoníaco porconversión de urea sólida en un reactor de plasma frío. Encuentro Argentino y Latinoamericano de Ingeniería, 5° Congreso Argentino de Ingeniería (CADI), 11° Congreso Argentino de Enseñanza de la Ingeniería (CAEDI) y 3° Congreso Latinoamericano de Ingeniería (CLADI). Octubre 2021, Buenos Aires.

[9] Prieto, G., Takashima, K., Mizuno, A., Prieto, O., Gay, C.R. (2013) Dielectricbarrierdischargeforammoniaproduction. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 33, 337–353. https://doi.org/10.1007/s11090-012-9428-2

[10] Constales, D., Yablonsky, G.S., D'hooge, D.R., Thybaut, J.W., Marin, G.B. (2017) *Advanced Data Analysis and Modelling in Chemical Engineering*. Elsevier

[11] Thagard, S. M., Mihalcioiu, A., Takashima, K., Mizuno, A. (2009) Analysis of the by-products in the ammonia production from urea by dielectric barrier discharge. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 37, 444–44. doi:10.1109/TPS.2008.2011132.

[12] Wang, D., Dong, N.Niu, Y., Hui, S. (2019) A Review of Urea Pyrolysis to Produce NH_3 Used for NO*x* Removal. *Journal of Chemistry*, Article ID 6853638.https://doi.org/10.1155/2019/6853638

Uso de Herramientas Geotecnológicas para la Modelización de Expansión Urbana de la Ciudad de Santiago del Estero.

Sandez, Daniel[1]; Linares, Santiago[2]; Goldar, Eduardo[1]; Gutiérrez, Carlos[1]

(1) Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero. *ing.das.2012@gmail.com; jegoldar@unse.edu.ar; agcarlos64@yahoo.com.ar*

(2) Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Nacional del Centro. P. Buenos Aires. *slinares@fch.unicen.com*

RESUMEN

El continuo avance de la Geotecnología ha posibilitado contar cada vez con más elementos, herramientas y procedimientos aplicados al análisis de la información geográfica digital para la modelización del espacio urbano. En este caso particular, la utilización de autómatas celulares como procedimiento para simular el crecimiento urbano de la ciudad de Santiago del Estero; permite obtener escenarios de expansión urbana a modo de insumos para elaborar lineamientos en materia del ordenamiento territorial sobre el patrón de crecimiento en las áreas urbanas. Este aporte pretende pronosticar los posibles cambios futuros de la ciudad de Santiago del Estero generando una base cartográfica que permita evaluar el potencial impacto ambiental que pueda provocar dicha transición en el futuro.

ABSTRACT

The continuous advance of Geotechnology has made it possible to have more and more elements, tools and procedures applied to the analysis of digital geographic information for the modeling of urban space. In this particular case, the use of cellular automata as a procedure to simulate the urban growth of the city of Santiago del Estero; It makes it possible to obtain scenarios of urban expansion as inputs to develop guidelines in terms of territorial planning on the pattern of growth in urban areas. This contribution aims to forecast possible future changes in the city of Santiago del Estero, generating a cartographic base that allows evaluating the potential environmental impact that this transition may cause in the future.

Palabras claves: Teledetección - Autómatas Celulares - Expansión urbana - Simulación

Keywords: Remote Sensing -Cellular Automata - Urban sprawl - Simulation

1. INTRODUCCION

La visión espacial que brindan los Sensores Remotos constituye una herramienta importante en la planificación territorial, debido a que permiten la evaluación, control y seguimiento de, por ejemplo, los recursos naturales, las actividades antrópicas, etc., sumado a la posibilidad de adquirir imágenes de un determinado espacio, en distintos momentos y poder realizar comparaciones. En áreas urbanas, esto ha facilitado el análisis y seguimiento de muchos fenómenos como ser: crecimiento urbano, usos del suelo, infraestructura de transportes, arbolado urbano, detección de construcciones no declaradas, entre otros (Chuvieco Salinero, 2008; Cardozo et al., 2013).

El análisis de la expansión urbana ha sido abordado desde distintas percepciones aplicando diferentes teorías y conceptos con el fin de poder representar y "modelar" el desarrollo urbano.

Los autómatas celulares, al igual que las redes neuronales, los algoritmos genéticos y las redes Petri, son matemáticas desarrolladas en el siglo XX para tratar con los fenómenos complejos propios de los sistemas dinámicos. El atractivo de los autómatas celulares para los constructores de modelos urbanos radica sobre todo en que son una plataforma inherentemente espacial y capaz de soportar formulaciones desde las más sencillas

y empíricas hasta las más elaboradas y teóricas (Aguilera Ontiveros, 2002).
Autómata Celular es una construcción matemática formada por una cuadrícula de celdas en las que cada celda tiene un valor inicial (de un número conocido y limitado de valores o "estados" posibles) y en según una unidad de tiempo/cambio determinada, todas las celdas se evalúan y actualizan de forma simultánea en función de sus estados internos y los valores de sus vecinos. Este modelo matemático y computacional integrado con los SIG, (Sistemas de Información Geográfica) permite la modelización de escenarios futuros de expansión urbana.
El presente trabajo refiere a la aplicación de dichas técnicas y procedimientos a los fines de simular la expansión urbana en el área circundante de la ciudad de Santiago del Estero, Departamento Capital de la provincia del mismo nombre ubicada al norte de la República Argentina.

1 MATERIALES Y MÉTODOS

1.1 *Zona de Estudio.*

La zona de estudio corresponde al área circundante de la Ciudad de Santiago del Estero, Departamento Capital de la Provincia de Santiago del Estero. El microcentro tiene una ubicación en latitud 27°47'15.86"S y longitud 64°15'34.95"O en coordenadas geográficas referidas al sistema WGS 84. Se encuentra a la vera del Rio Dulce en su margen derecha con una disposición que sigue la dirección de dicho Rio de Noroeste al Sudeste. En principio, no se tomó como límite del área de trabajo al Ejido urbano Municipal de dicha ciudad, ya que el mismo se presenta casi completamente urbanizado. Por ello, se delimito una zona que contemple zonas aledañas a la ciudad donde las mismas sean potencialmente susceptibles a producirse el cambio de uso a zonas de características urbanas.

Figura 1: Delimitación de Zona de estudio (Fuente: Google Earth).

La delimitación se hizo mediante la premisa de seguir las vías de comunicación y los deslindes existentes.

1.2 *Metodología*

Se pueden considerar tres grandes etapas para el desarrollo de la simulación urbana:
1° La preparación de los Datos. (SIG)
2° Calibración y Simulación (software específico, SACcity).
3° Análisis y Visualización (SIG).
Según se desprende de las características del software específico utilizado (SACcity), este recurre a un modelo de Autómatas Celulares Combinado, que es una adaptación del desarrollado por White y Engelen (1997), al que se le introducen los factores de difusión y propagación considerados en el modelo de Clarke et al. (1997), más la incorporación del método de decisión multicriterio basadoen el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP, del inglés AnalyticHierarchyProcess) que permite la ponderación de variables y factores.
El conjunto finito de estados corresponde a urbanizado o no-urbanizado, es decir, que solo es posible la transición del estado no-urbanizado al urbanizado. La vecindad, es una matriz de 9x9 celdas, o sea una vecindad de 81 celdas. Las reglas de evolución refieren al número n_i que conforman el autómata que deben tener un estado "urbanizado" en el tiempo t es considerado como un parámetro externo que determina la cantidad de cambios que van a tener lugar en el autómata. El modelo determina las celdas en las cuales el potencial para la transformación al estado

"urbanizado" es la más alta y distribuye n_i entre esas celdas. Un reloj virtual de cómputo conectado a cada celda del autómata indica el momento en que debe aplicarse la función de transición.
Además, el contar con una situación real permite validar el resultado, para lo que se emplean dos métodos de comparación de las simulaciones: la comparación visual de los mapas resultantes y una evaluación cuantitativa mediante matrices de confusión, la que permite deducir cuatro medidas relativas a la exactitud de los resultados: la exactitud global, exactitud del usuario, exactitud del productor y coeficiente kappa.

Preparación de los Datos
Las llamadas manchas urbanas para distintas fechas fueron obtenidas desde la página de IDERA, para la ciudad de Santiago del Estero correspondiente a los años: 1992, 2001, 2010 y 2018. Estas manchas urbanas mostradas en las figuras 2, 3, 4 y 5 son el resultado de procesarlas para utilizarlas en la simulación, lo que consistió en reclasificarlas en dos categorías (edificado y no edificado), ya que presentaban una serie de categorías. También se las proyectó al sistema nacional vigente POSGAR 07, faja 4; para su posterior rasterización. (formato TIFF).

Figura 2: Año 1992.

Figura 3: Año 2001.

Figura 4: Año 2010.

Figura 5: Año 2018

Capa Restricción.
La restricción se da para aquellas celdas que se consideran que deben permanecer inalterables en el tiempo. Esto se corresponde para las que conforman el espacio geográfico que ocupan, como ser: los aeropuertos, clubes, espacios verdes, cementerios, vías de comunicación, etc.
Para el archivo de restricciones se generó desde Google Earth un archivo kmz, con los polígonos de zonas de restricciones arriba mencionadas. Luego se lo convirtió a formato shapefile, y se lo proyecto a posgar 07 faja 4; para su posterior rasterización (formato TIFF) enmarcándolo según la capa límite del área de trabajo.

Figura 6: capa Restricción.

En la figura 6 se muestran aquellas celdas en color rojo que no pueden estar sometidas al proceso de cambio de no-edificado a edificado.

Factores y Variables
A continuación se eligen los factores que se consideren más influyentes en el crecimiento urbano los cuales están compuestos por variables. Para este trabajo, se eligieron dos factores: el de accesibilidad con dos variables: la distancia a las principales vías de comunicación y la distancia al centro de la ciudad.
El segundo factor, es el de topografía: con dos variables: la pendiente y la altitud.
Al igual que las capas de zonas urbanizadas y de restricciones, las variables están homogeneizadas a una matriz de idénticas dimensiones, es decir, de la misma cantidad de filas y columnas, con una misma extensión, resolución espacial y sistema de proyección.
Para el factor de accesibilidad, cuya variable es la distancia al centro de la ciudad, se generó un mapa de distancias en un ambiente SIG, obteniendo como resultado el siguiente archivo raster.

Figura 7: Mapa de distancia al centro.

La otra variable de accesibilidad es la distancia a las vías de comunicación. Para ello se utilizó como fuente un archivo de vías de comunicación correspondiente a la provincia de Santiago del Estero obtenido desde la página web del IGN (Instituto Geográfico Nacional), enmarcando el área de estudio para posteriormente generar un mapa de distancias, como se muestra en la figura 7.

Figura 7. Mapa de distancias a vías de comunicación.

Para el Factor de Topografía, Se descargó de la página de USGS, los archivos SRTM de la zona de trabajo. Se descargaron dos imágenes:
s29_w065_1arc_v3.tif
s28_w065_1arc_v3.tif
Luego se ejecutó un mosaico de las mismas para unirlas. Luego, se procedió a enmascarar en función del área de trabajo. Para obtener, un mapa de alturas en relación a la variable establecida para dicho factor.

Figura 8. Mapa de Alturas

Con la imagen obtenida se generaron curvas de nivel a una equidistancia de 5 m. para obtener como resultado el mapa de pendientes que se muestra en la figura 9 siguiente.

Figura 9. Mapa de Pendientes

2 RESULTADOS

2.1 *Calibración*

Para dar inicio al proceso de simulación basado en autómatas celulares, se ejecuta primeramente el calibrado del mismo.
Para ello se elige una capa origen y una de destino de zonas urbanizadas de tiempo atrás, de tal manera de poder evaluar el resultado, en

relación a evolución empírica de la mancha urbana; y poder utilizarlo luego para proyectar al futuro.
Para ello se utilizan las siguientes capas:
Capa de zonas urbanizadas de origen: "2010_rst_ult1.tif" (año 2010) y
Zonas urbanizadas destino: "2018_rst_ult1.tif" (año 2018). Luego se cargan las capas de los factores y variables establecidos:
Factor Topografía: Altitud y Mapa de Pendientes
Factor Accesibilidad: Distancia al centro y Distancia a vías de Comunicación.

2.2 *Ponderación*

El paso siguiente es la ponderación de las variables y factores que consiste a indicar el grado de importancia de una variable respecto a otra; utilizando el modelo de decisión multicriterio basado en el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) (Saaty).
Para relacionar la importancia entre las variables del factor topografía alturas y pendientes para nuestra área de trabajo; tendremos en cuenta las siguientes premisas:
La pendiente general de la provincia de Santiago del Estero, mantiene una dirección desde el Noroeste al Sudeste; tendencia que se presenta de manera similar para nuestra área de trabajo.
La distancia siguiendo esa diagonal en nuestra área de trabajo es de unos 24 km aproximadamente.
Los valores de alturas son oscilan entre 236 y 171 msnm; lo que hace una diferencia de altitud en el área de estudio de 65 m.
La pendiente se mantiene aproximadamente de manera constante a lo largo de la diagonal indicada; por lo que se considera un valor aproximado de 2,70m de diferencia de altura por km.
De todo esto resulta que las pendientes predominantes en la zona son prácticamente suaves. De todas maneras tendrían un poco de mayor importancia que la altura.

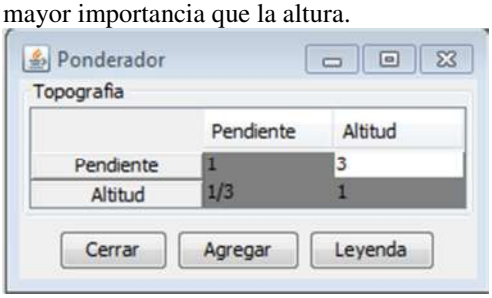


Figura10. Ponderación de variables del factor Topografía.

Con respecto a las variables de accesibilidad, consideramos más importante la distancia a las vías de comunicación que la distancia al centro, dado que son las que garantizan la conectividad efectiva para los desplazamientos, y con ello, un factor de localización para nuevas edificaciones.

Figura 11. Ponderación de variables del factor de accesibilidad.

A continuación se muestra en la figura 12 la ponderación de los factores.

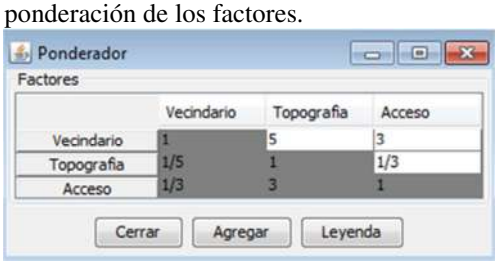


Figura 12. Ponderación de factores.

2.3 *Modelo Combinado*

A continuación se ejecutó el modelo combinado con las siguientes configuraciones para dos tipos de calibración, según los siguientes parámetros:
Calibración 1

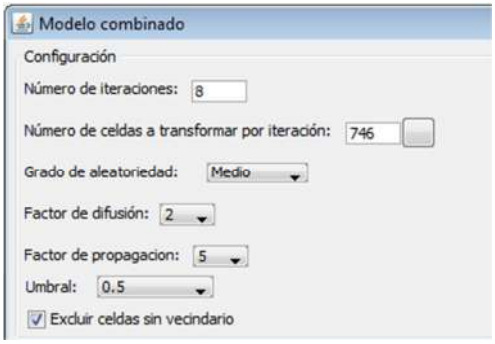


Figura 13. Parámetros de calibración 1.

Resumen de validaciones de la calibración 1
Índice Kappa: 0.8577146736594591.
Exactitud Global: 94.3230325049386%

Exactitud del Productor:
Urbanizados: 95.97049024274155%
No Urbanizados: 89.9667740636327%
Exactitud del Usuario:
Urbanizados: 96.196673755933895%
No Urbanizados: 89.4108818011257%

Calibración 2.

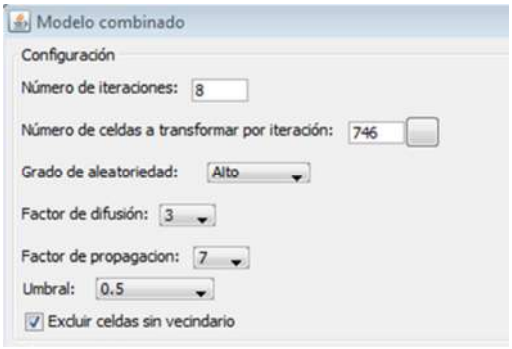


Figura 14. Parámetros de calibración 2.

Resumen de validaciones de la calibración 2
Índice Kappa: 0.844433168901208
Exactitud Global: 93.80223514622388%
Exactitud del Productor:
Urbanizados: 95.70109471680152%
No Urbanizados: 88.78121224325413%
Exactitud del Usuario:
Urbanizados: 95.75487422731473%
No Urbanizados: 88.64955890114862%
Por la comparación de los valores de ambas calibraciones; se elige la calibración 1, ya que sus valores (de índice kappa y exactitud global por ej.) son levemente mejores.

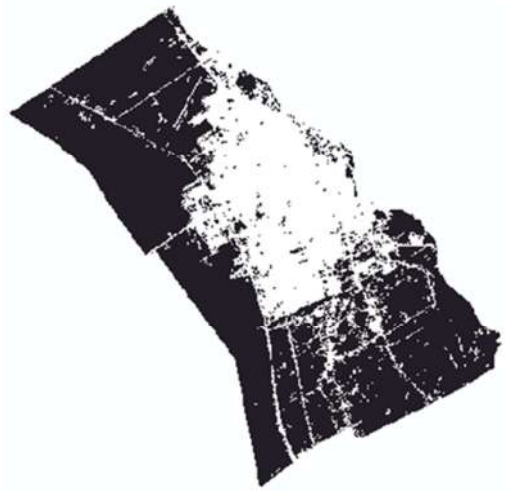


Figura 15. Imagen destino (año 2018).

Figura 16. Imagen Comparativa. Resultado de la calibración 1.

2.4 *Análisis Visual*

En principio, se puede observar que existe una buena correspondencia entre el patrón de expansión obtenido mediante la simulación para el año 2018 simulada y la imagen de verdad de campo del mismo año utilizada para validar dicha simulación; los aciertos se muestran con color verde, en rojo se identifican áreas transformadas a edificadas que no acontecieron en la realidad, y en amarillo las áreas edificadas no detectadas por el modelo, muchas de ellas se refieren a la existencia de caminos más que a nuevas áreas edificadas.

2.5 *Simulación*

Para este proceso, se toma como zona urbanizada origen la mancha urbana del año 2018, dejándose la capa urbana destino vacía. Entonces se elige la ponderación de variables y factores como así también los parámetros de cálculo de la calibración 1; solo cambia el número de iteraciones usado en el modelo combinado que es = 12 ya que la simulación es hasta el año 2030.

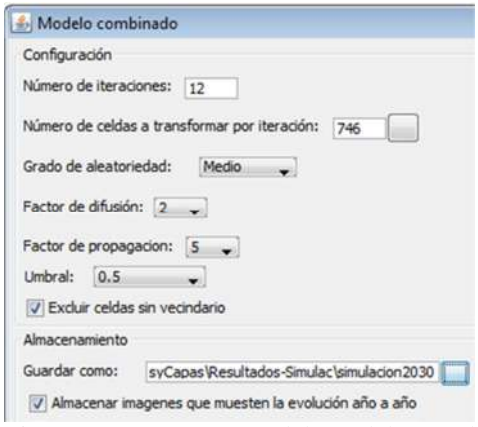


Figura 17. Parámetros del modelo combinado para la simulación.

Cada uno de las iteraciones corresponde a una escena para cada año; lo que permite seguir la evolución año a año.
A continuación se presentan el primer y el último momento de la simulación.

Figura 18. Imagen Resultado de Simulación Año 2019.

Figura 19. Imagen Resultado de Simulación Año 2030.

4 CONCLUSIONES

Si aplicamos transparencia al primer momento de la simulación (año 2019) se observan en tonos de grises los pixeles que muestran el patrón de expansión urbana para el último momento de la simulación (año 2030). Se puede decir que se observa el incremento de la zona urbanizada, en relación a las cercanías de las vías de comunicación más importantes y con predominancia del crecimiento o expansión en dirección hacia el sur, como siempre fue la tendencia histórica para la ciudad de Santiago del estero; como era de esperar. Esto lo podemos visualizar en la figura 20 siguiente.

Figura 20. Imagen con transparencia para observancia del patrón de crecimiento urbano simulado.

Otro elemento que se puede analizar es el aspecto de relacionado con el incremento del número de celdas urbanas.
Numero de celdas urbanas año 2019 = 105050
Numero de celdas urbanas año 2030 = 113125
Por lo que se observa un incremento de celdas urbanas para el año 2030 de 8075 celdas. Resultando un incremento relativo del 10%
Además, si tenemos en cuenta que el tamaño de la celda usada es de 60 x 60 (en metros); el aumento de la superficie edificada esperable para el año 2030 es de unas 2907 hectáreas.

Estos valores obtenidos de la simulación de expansión urbana para el año 2030; se consideran positivos y constituyen el punto de partida para el análisis y evaluación de distintos aspectos referentes al Ordenamiento Territorial como ser:
La distribución de servicios e infraestructura para las futuras urbanizaciones, sobre todo aquellas de características difusas, con la consecuente problemática para poder dotar de las mencionadas cuestiones necesarias para el normal desarrollo de la vida urbana. Otro aspecto no menos importante para evaluar es el impacto ambiental, que se puede producir o inferir como consecuencia de la expansión urbana. El conocer las variables explicativas del crecimiento y poder simular la expansión urbana puede ayudar notoriamente a conocer los riesgos, pero también planificar y reducir los posibles impactos que las formas de crecimiento difusas generan en las ciudades; tales como la prevención de afectación por inundaciones, la planificación de extensión de servicios básicos, o la conservación ecológica urbana, entre otros.

5 REFERENCIAS

AguileraOntiveros, A. (2001). *Modelado multiagente de sistemas socioeconómicos: una introducción al uso de la inteligencia artificial en la investigación social.* Colección Investigaciones del Colegio de San Luis. San Luís de Potosí, México. 102 p.

Aguilera Ontiveros, A. (2002). *Ciudades como tableros de ajedrez. Introducción al modelado de dinámicas urbanas con autómatas celulares*. Colección Investigaciones del Colegio de San Luis. San Luís de Potosí, México. 102 p.

Batty, M. (2005). *Cities and complexity: Understanding cities with celularautómata, agent-based models, and fractals*. Cambridge, MA: The MIT Press.

Buzai, G. Y Baxendale, C. (2011). *Análisis fractal y de autómatas celulares*, en: Buzai, G. y Baxendale, C. *Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica*. Tomo 1: Perspectiva científica / Temáticas de base raster. Lugar Editorial. Buenos Aires. Argentina. p. 261-287.

Camacho Olmedo, M.T., Pontius, R.G., Paegelow, M. Y Mas, J.F. (2015). *Comparison of simulation models in terms of quantity and allocation of land change.* Environmental Modelling & Software. 69. p. 214-221.

Camacho Olmedo, M.T., Paegelow, M., Mas, J-P Y Escobar, F. (eds). (2018). *Geomatic Approaches for Modeling Land Change Scenarios*. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Springer. 525 p.

Chuvieco Salinero, E. (2008). *Teledetección Ambiental, La Observación De La Tierra Desde El Espacio*. Barcelona.

Cardozo, O Da Silva, C Odriozola, J Bondar, C (2013). *Usos del Suelo en el Micro-Centro de la Ciudad de Resistencia: Patrones Espaciales Identificados con Sistemas de Información Geográfica (SIG)*. Univ. Nac. Del Nordeste. Resistencia.

Gómez Delgado, M. Y Rodríguez Espinosa, V. M. (2012). *Análisis de la dinámica urbana y simulación de escenarios de desarrollo futuro con tecnologías de la información geográfica*. RA-MA Editorial, Madrid, España. 350 p.

Henríquez, C. (2014). *Modelando el Crecimiento de Ciudades Medias. Hacia un desarrollo urbano sustentable.* Ediciones UC. Pontificia Universidad Católica de Chile. 314 p.

Linares, S. (2016). *Evolución histórica sobre la modelización del espacio urbano en Geografía*. Sociedade e Território. Vol. 28, N° 2. p. 23-41.

Linares, S. Y Picone, N. (2018). *"Modelización de la expansión urbana y su impacto en el paisaje natural mediante Sistemas de Información Geográfica y Autómatas Celulares. Caso de estudio: Tandil, Argentina"*. Revista Estudios Ambientales. Volumen 6 N°1, ISSN 2347-0941. p. 5-25.

Longley, P. A.; Goodchild, M. F.; Maguire, D. J. Y Rhind D. W. (2013). *"Modelagem Espacial com SIG", en: Longley, P. A. et al. Sistemas e Ciência da Informação Geográfica*. Bookman, Porto Alegre, Brasil. (Tercera edición). p. 403-423.

López Trigal, L. (2016). *Diccionario de geografía aplicada y profesional: terminología de análisis, planificación y gestión del territorio*. Universidad de León. 676 p.

Reynoso, C. (2010). *Análisis y diseño de la ciudad compleja. Perspectiva desde la antropología urbana.*Editorial SB, Buenos Aires, Argentina. 368 p.

Triantakonstantis, D. And Mountrakis, G. (2012). *Urban Growth Prediction: A Review of Computational Models and Human Perceptions*. Journal of GeographicInformationSystem, 4. p. 555-587.

Predicción del nivel del dique Las Maderas usando redes neuronales artificiales

Tarifa, Enrique E.[1,2]; Martínez, Sergio L.[1] y Chalabe, Susana A.[1]

(1) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.
eetarifa@fi.unju.edu.ar*; smartinez@fi.unju.edu.ar; sachalabe@fi.unju.edu.ar*

(2) CONICET

RESUMEN

El dique Las Maderas desempeña una función central en el sistema de gestión del agua de la provincia de Jujuy (Argentina). Por ello, es de gran importancia tener la capacidad de predecir el nivel futuro de este dique. Con este fin, se pueden emplear modelos estadísticos desarrollados para modelar series temporales. Sin embargo, la aplicación de dichos métodos requiere el cumplimiento de ciertas condiciones que no siempre se verifican. En este trabajo, se desarrollan redes neuronales para predecir los niveles del dique hasta tres meses a futuro. Los resultados obtenidos con estas redes se compararon con los obtenidos por los modelos estadísticos más empleados en la actualidad para modelar series temporales. Las pruebas realizadas mostraron que las redes desarrolladas producen las predicciones más exactas.

ABSTRACT

Las Maderas dam plays a central role in the water management system of the province of Jujuy (Argentina). Therefore, it is of great importance to have the ability to predict the future level of this dam. To this end, statistical models developed for modeling time series can be used. However, the application of such methods requires the fulfillment of certain conditions that are not always verified. In this work, neural networks are developed to predict the levels of the dam up to three months in the future. The results obtained with these networks were compared with those obtained by the statistical models currently used to model time series. The tests performed showed that the developed networks produce the most accurate predictions.

Palabras claves: series temporales –RNA –ETS – ARIMA

Keywords: temporal series – RNA – ETS – ARIMA

1 INTRODUCCIÓN

Los procesos de predicción son herramientas que se aplican intensamente en numerosos campos para estimar valores futuros de alguna variable de un sistema y poder actuar anticipadamente. Los campos de aplicación más representativos de esas herramientas son los tecnológicos, los industriales y los naturales.

Los valores medidos de una variable a largo del tiempo, ordenados cronológicamente, constituyen una secuencia o series de datos vinculados al tiempo en que fueron obtenidos. Las series de datos así obtenidos se denominan series temporales. De esta manera, una serie temporal es una colección de observaciones realizadas secuencialmente, en intervalos regulares o irregulares, a través del tiempo (Chatfield, 2004).

Las series temporales reflejan el estado de funcionamiento o evolución del sistema en consideración, y su conocimiento pasado, presente y eventualmente futuro puede ser aprovechado por operadores humanos, u otros sistemas asociados, para lograr una mayor eficiencia operativa. En efecto, la posibilidad de tener un conocimiento anticipado de cómo puede llegar a evolucionar un sistema, permite que el operador actúe de manera proactiva en lugar de simplemente reaccionar frente a situaciones ya consumadas. De esta manera, se pueden evitar pérdidas de producción, productos fuera de

especificación, daños materiales, daños personales o incluso mitigar las consecuencias de catástrofes naturales.

Los primeros trabajos que utilizaron series temporales para pronosticar valores futuros estuvieron basados en modelos estadísticos que requieren un conocimiento previo de la dinámica y condiciones del sistema para su aplicación (Box y Jenkins, 1976).Dos de los modelos más empleados para series temporales son ARMA y ARIMA.

El modelo ARMA, siglas en inglés de *Auto Regressive Moving Average*, promedio móvil autorregresivo, es un modelo que utiliza tanto la información de los valores anteriores de la serie temporal (proceso autorregresivo) como los errores de predicción anteriores (proceso de media móvil) para hacer una predicción del siguiente valor en la serie temporal. En otras palabras, ARMA modela la serie temporal como una combinación lineal de valores anteriores y errores de predicción anteriores.

Por otro lado, el modelo ARIMA, siglas en inglés de *AutoRegressiveIntegratedMovingAverage*, promedio móvil integrado autorregresivo, es un modelo que utiliza la información de los valores anteriores de la serie temporal y las diferencias entre ellos (proceso integrado) para hacer una predicción para el siguiente valor en la serie temporal. Es decir,ARIMA modela la serie temporal como una combinación lineal de valores anteriores y las diferencias entre ellos.

Debido a sus naturalezas, la principal diferencia entre ARMA y ARIMA es que ARIMA es capaz de manejar series temporales no estacionarias.En ese tipo de series temporales, la media o la varianza cambian con el tiempo(Racine, 2019).

Posteriormente, con el desarrollo de la Inteligencia Artificial, surgieron diversos modelos, algoritmos y procedimientos que han permitido crear métodos eficientes para la predicción de valores en series temporales sin necesidad de cumplir con las hipótesis requeridas por los modelos estadísticos.

Los modelos más estudiados y desarrollados, proporcionados por la Inteligencia Artificial, son las redes neuronales. Las Redes Neuronales Artificiales (RNA), también conocidas por su sigla en inglés ANN (*Artificial Neural Networks*), se pueden considerar como modelos matemáticos representativos de la actividad cerebral, dotados de la capacidad de aprender, memorizar y generalizar la información aprendida bajo un esquema de procesamiento estrictamente numérico y elevada tolerancia al ruido (Martínez et al., 2013).

Miloshevich et al. (2023) desarrollaron una metodología para construir modelos de pronósticos de cambio climático basados en redes neuronales convolucionales entrenadas con resultados de modelos climáticos que abarcan un periodo extremadamente largode 8000 años. Según los autores, las RNA utilizadas tienen habilidades predictivas aceptables para pronosticar olas de calor de 14 días de duración, y ello lo pueden hacer con 15 días o más de anticipación.

En el trabajo desarrollado por Xu y Zhang (2022), se utilizó una RNA autorregresiva no lineal para predecir el precio del aceite de canola y de soja, basándose en una serie de 10 años (2010 a 2020) de los índices de precios mayoristas semanales de tales productos. Según los autores, luego de probar diferentes modelos de RNA, lograron resultados precisos y estables.

Cerna-Vázquez et al. (2017)utilizaron una red neuronal *backpropagation*y una serie temporal de índices de la calidad del aire medidos en la ciudad de León (México) para predecir los valores futuros (una hora hacia adelante) de los alergenos contaminantes del aire. Esa información fue empleada para prevenir a las personas con padecimientos de rinitis y asma. Según los resultados publicados, se observa que los valores pronosticados por la RNAson muy cercanos a los valores reales medidos de los contaminantes.

Martínez y Tarifa (2008) desarrollaron el método de predicción de un paso adelantado de series temporales simuladas.Estos autores diseñaron, implementaron y compararon el comportamiento de tres modelos de redes neuronales. Los modelos utilizados fueron las redes neuronales *feedforward* clásicas, las redes *feedforward* con ventanas de retardo (predictores tipo MA(q), media móvil) y las redes recurrentes (predictores AR(p), autorregresivos).La estructuración con arquitecturas y parámetros similares ha permitido comparar sus desempeños, mostrando que el mejor comportamiento lo tienen lasRNArecurrentes, luego siguen lasRNAcon ventanas de retardo y, finalmente, lasRNA*feedforward* clásicas (Martínez y Tarifa, 2008).

Gutiérrez et al. (2011) diseñaron e implementaron múltiples RNA de tipo NARX (*NonlinearAutoRegressivenetworkwitheXogenous*

inputs) para predecir datos hidrometeorológicos de una serie temporal de caudales de un afluente del dique Las Maderas, Jujuy, Argentina. El proceso experimental consistió en el diseño de múltiples modelos de redes NARX para predecir en uno y doce pasos adelantados, seleccionando luego los modelos que proporcionaron los mejores resultados.

En el presente trabajo, se diseñan e implementantres redes neuronales para predecir valores de uno, dos y tres meses a futuro del nivel del dique Las Maderas. Este dique está ubicado en El Carmen, provincia de Jujuy. Tiene una superficie de 960 ha con capacidad de 320 hm^3 y una cota del fondo de 1081,370 m. La importancia que tiene este dique para la provincia de Jujuy hace que sea de suma importancia poder predecir cómo evolucionará el nivel del mismo para la toma de decisiones adecuadas.

2 METODOLOGÍA

2.1 *Redes Neuronales Artificiales*

La estructura básica de una RNA consiste de unidades de procesamiento —las neuronas artificiales— configuradas como un modelo simplificado de las neuronas biológicas (Fig. 1), interconectadas para operar en forma paralela y organizadas en estratos o capas.

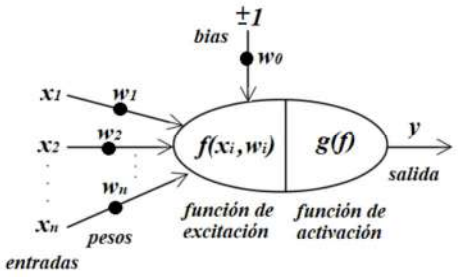


Figura 1. Modelo de una neurona artificial.

En el modelo general de una neurona artificial se pueden reconocer los siguientes elementos básicos:

- Un conjunto de datos de entrada (x_1 ... x_n) provenientes del exterior de la RNA o de otras neuronas internas.
- Un conjunto de coeficientes, denominados pesos o sinapsis (w_1 ... w_n), que multiplican a sus respectivas entradas y determinan el comportamiento de cada neurona. Estos coeficientes pueden ser excitadores (signo positivo) o inhibidores (signo negativo).En ellos se asienta todo el conocimiento aprendido por la RNA.
- Una entrada especial —identificada como bias— que recibe un valor fijo (±1). Este parámetro tiene asociado un coeficiente de peso (w_0), como las otras entradas, y se utiliza para sintonizar o ajustar el aprendizaje de la RNA de forma más eficiente.
- Una función de entrada $f(x_i,w_i)$ —identificada como función de excitación— que concatena a las entradas moduladas por los pesos, generalmente a través de una sumalineal, cuadrática u otra de las entradas ponderadas por sus pesos.
- Una función de salida $g(f)$ —identificada como función de activación— que procesa el resultado de la función de excitación para producir el resultado que se asigna a la variable de salida y de la neurona.

De acuerdo al formato de agrupamiento de las neuronas, al tipo de interconexión entre ellas y al método de aprendizaje, se obtienen diferentes arquitecturas de redes, con diferentes capacidades operativas. Como ejemplo, en la Fig. 2, se presenta el esquema genérico de una RNA*feedforward*de tres capas (n+m+1).

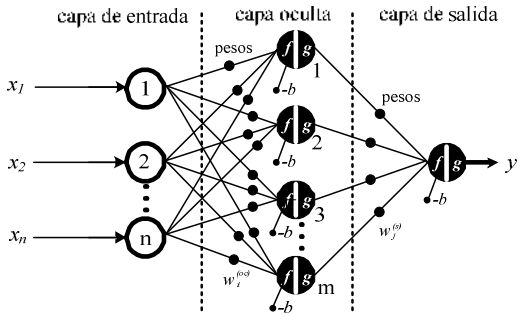


Figura 2. Esquema genérico de una RNA*feedforward* de tres capas (n+m+1).

Las RNA son modelos empíricos, por lo cual sus parámetros (pesos y bias) son ajustados empleando un conjunto de datos provenientes del sistema que se quiere modelar. Además de los parámetros, también se pueden modificar los hiperparámetros—la estructura (cantidad de nodos y capas) y las funciones de excitación y activación— para mejorar el desempeño de la red. Todas estas posibilidades dotan de una gran flexibilidad a las RNA, por lo cual pueden ajustarse para emular (mapear) cualquier relación

que exista entre las entradas y las salidas del sistema analizado. Sin embargo, como todo modelo empírico, se debe considerar el riesgo de que el modelo se sobreajuste a los datos empleados y, de ese modo, pierda capacidad de generalización o predicción.

Por lo planteado, unaRNA tiene dos etapas bien definidas: el entrenamiento y la producción. En la etapa de entrenamiento, se ajustan los parámetros (pesos y bias) empleando los datos provenientes del sistema modelado; en la segunda, la red se emplea para el fin que se desarrolló.

En la etapa de entrenamiento, los datos disponibles se dividen en tres subconjuntos: el de entrenamiento, el de validación y el de prueba. Con los primeros se ajustan los parámetros de la red, con los segundos se evalúa la capacidad de generalización de la red para el ajuste realizado, y con el tercero se evalúa la red ya entrenada.

Para validar el modelo, se empleó una variante del método de la validación cruzada (Devijver yKittler, 1982). La validación cruzada o *cross-validation*es una técnica utilizada para evaluar los resultados de un análisis estadístico y para garantizar que son independientes de la partición entre datos de entrenamiento y validación.

Si la estructura de la RNA es demasiado simple, no podrá ajustarse a los datos de entrenamiento, y el error de entrenamiento será grande. En ese caso, se tiene una red subajustada (*underfitting*). Por el contrario, si la estructura de la RNA es demasiado compleja, el error de entrenamiento será bajo; pero el de validación será alto porque no tiene capacidad para generalizar. En este caso, se tiene una red sobreajustada (*overfitting*). De esta manera, mediante el estudio de los errores de entrenamiento y validación, se puede llegar a definir una estructura adecuada para la red.

Si bien el entrenamiento de unaRNA demanda tiempo y esfuerzo, una vez que está entrenada, se la puede usar sin necesidad de repetirlo. En la etapade producción, la RNA muestra una de sus grandes ventajas: la velocidad de respuesta. En efecto, mientras que la resolución de los modelos matemáticos tradicionales demanda un tiempo considerable de cálculo, la RNA solo tiene que ser evaluada, lo que produce un resultado inmediato. Por esta razón, las RNA son requeridas en todas las áreas donde el tiempo de cálculo es una condición crítica, como es el caso del control de procesos.

2.2 *Modelos predictores neuronales*

Cuando se pretende emplear las RNA para modelar series temporales, lo primero que debe hacerse es definir las entradas y las salidas de las redes. Dada una serie temporal cuyos valores están separados en el tiempo por el intervalo Δt, existen dos alternativas para predecir n valores futuros de la serie en un momento dado t:

- Emplear una única red con capacidad para predecir los n valores correspondientes a los tiempos $t + \Delta t, t + 2\Delta t, \ldots, t + n\Delta t$.
- Emplear n redes, una para cada tiempo de predicción; esto es,la primera entrenada para predecir el valor correspondiente al tiempo $t + \Delta t$, la segunda para predecir el valor correspondiente al tiempo $t + 2\Delta t$, y así sucesivamente hasta llegar a la última red, la cual predice el valor correspondiente al tiempo $t + n\Delta t$.

En el presente trabajo, se adoptó la segunda alternativa, tomando $n = 3$; es decir, se desarrollaron tres redes para predecir los valores correspondientes a distintos tiempos:la Red 1 para$t + \Delta t$, la Red 2 para$t + 2\Delta t$ y la Red 3 para $t + 3\Delta t$.

En cuanto a la estructura de la red, se analizaron las siguientes alternativas:

- *Feedfordward*
- *Feedfordward* con retroalimentación con retardos
- Redes recurrentes

En el presente trabajo, se evaluó el rendimiento del primer tipo de estructura, la *feedfordward* clásica.Cada red fue configurada para tener 12 entradas (un año de mediciones) y una salida, la cual corresponde al tiempo de predicción que haya sido asignado a la red en cuestión. Cada red tiene una capa oculta con las siguientes cantidades de neuronas: 120, 480 y 600, respectivamente. Para implementar las RNA se empleó Matlab. La Fig. 3 muestra un esquema de la Red 2 implementada en Matlab.

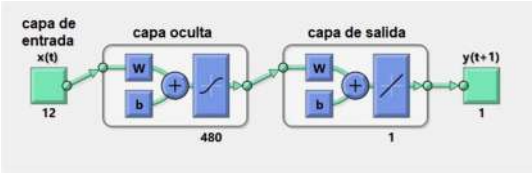


Figura 3. Esquema de la Red 2 implementada en Matlab.

Para la función de excitación, se optó por la suma lineal de las entradas ponderadas por los pesos de las conexiones; mientras que para la función de activación se escogió una función sigmoide bivaluada para la capa oculta y una función lineal para la capa de salida.

Para estimar el intervalo de predicción del 95 % de confianza de un resultado, se tomó el máximo error y el mínimo error de las 39 predicciones previas al momento de la predicción para la cual se estima el correspondiente intervalo de predicción. En general, la cantidad de predicciones m a considerar para estimar el intervalo de c% de confianza está dada por la siguiente ecuación:

$$100\frac{m-1}{m+1} = c\% \quad (1)$$

Lo planteado en esta sección se puede lograr debido a que las RNA presentan como característica fundamental la capacidad de aprender a partir de ejemplos incorporados durante la etapa de entrenamiento, sin necesidad de tener conocimiento previo sobre las características y relaciones que subyacen en las eventuales series temporales que puedan procesar. Esta propiedad permite que se puedan realizar predicciones sobre cualquier tipo serie temporal sin el requerimiento de las condiciones estadísticas necesarias para los modelos ARMA (Pino et al, 2002).

2.3 *Datos para el entrenamiento*

Para este trabajo, se utilizó una serie temporal de valores de nivel del dique Las Maderas(Fig. 4). Los valores son mensuales, inician en enero de 2007 y se extienden hasta diciembre de 2022; por lo tanto, se tienen 192 valores de cotas. Estos datos fueron suministrados por la Dirección Provincial de Recursos Hídricos de la provincia de Jujuy. De estos datos, 70 % fueron usados para entrenamiento, 15 % para la validación y 15 % para la prueba.

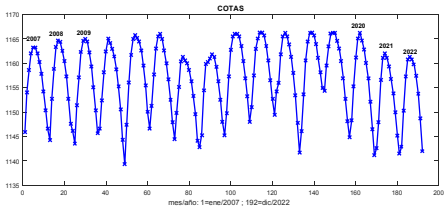


Figura 4. Serie temporal de cotas del dique La Maderas (Jujuy).

3 RESULTADOS

De la Fig. 5 a la Fig. 7, se presentan los valores reales de las cotas (línea azul), las predicciones (líneas rojas) y los errores (valor real menos la predicción) para los datos empleados en la fase de entrenamiento de las tres redes desarrolladas.

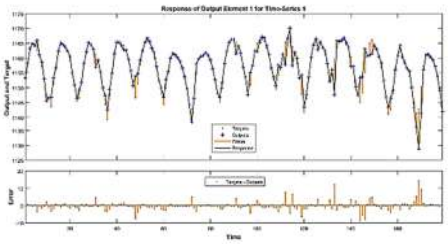


Figura 5. Curvas de datos originales, predicciones y errores de la Red 1.

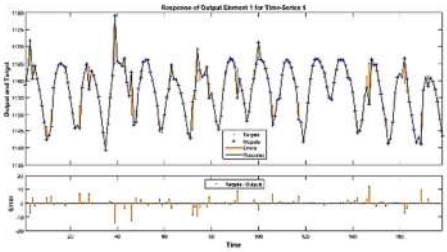


Figura 6. Curvas de datos originales, predicciones y errores de la Red 2.

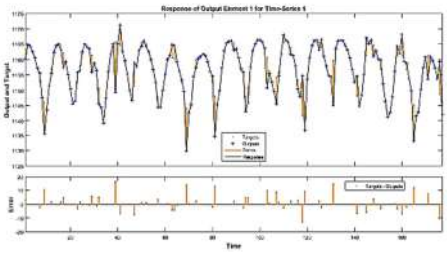


Figura 7. Curvas de datos originales, predicciones y errores de la Red 3.

Para evaluar la bondad de las predicciones realizadas por las redes desarrolladas, la serie temporal también se modeló empleando otros dos modelos: la versión AAAdel algoritmo de suavizado exponencial triple (ETS) y el modelo ARIMA (Holt, 2004; Racine, 2019). En ambos casos, primero se normalizó la serie. Luego, las predicciones fueron escaladas nuevamente a la escala real para obtener el valor pronosticado *LM*. En ambos casos, se calcularon los límites inferior *LI* y superior *LS* del intervalo de predicción del 95 % de confianza.

Las Figs. 8 y 9 presentan las predicciones realizadas con ambos modelos estadísticos para las cotas medidas en metros de los tres primeros meses del año 2023.En ellas, se incluye también el valor real de la cota medida en esos meses. Esos valores no fueron empleados ni en el ajuste de los modelos estadísticos ni en el entrenamiento de las RNA desarrolladas. Como puede apreciarse, la predicción de ETS es demasiada alta. La predicción de ARIMA es mejor: aunque sigue siendo alta, el valor real coincide con *LI*. Por otra parte, las predicciones realizadas por las RNA (Fig. 10) son más exactas, pero el intervalo de predicción del 95 % de confianza es más grande, lo que implica una mayor incertidumbre en la predicción.

La Fig. 11 presenta los errores, en m, de las predicciones realizadas por los tres modelos para los tres primeros meses del año 2023. En todos los casos, las predicciones estuvieron por encima del valor real medido (errores positivos). Esto puede deberse a que se está en presencia de un periodo atípico caracterizado por una fuerte sequía.

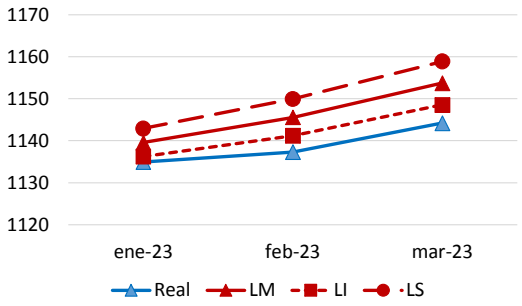


Figura 8: Predicción de la cota, en m,deETS.

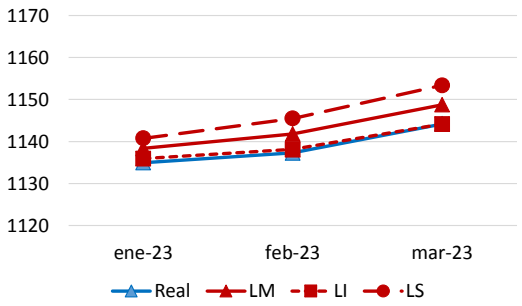


Figura 9: Predicción de la cota, en m,deARIMA.

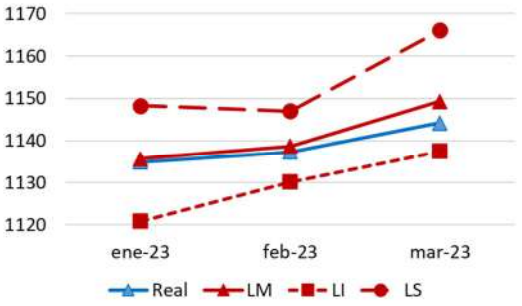


Figura 10: Predicción de la cota, en m,de las RNA.

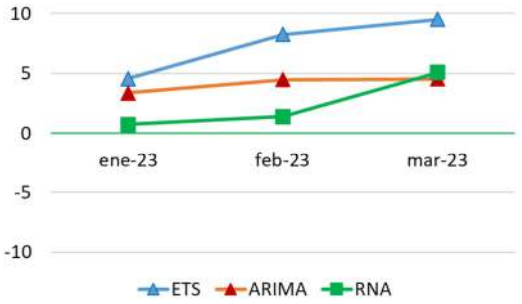


Figura 11. Errores, en m, de las predicciones realizadas por los tres modelos evaluados.

4 CONCLUSIONES

En este trabajo, se desarrollaron tres RNA para predecir el nivel tres meses a futuro del dique Las Maderas de la provincia de Jujuy. Los resultados obtenidos con las redes desarrolladas fueron comparados con los producidos por dos modelos estadísticos comúnmente empleados para modelar series temporales.

Tanto los modelos estadísticos como el de redes predijeron valores superiores a los observados en los meses evaluados, de enero a marzo de 2023. Esto puede deberse a que ese periodo estuvo afectado por una fuerte sequía.

Si bien las predicciones realizadas por las redes fueron las más exactas, el intervalo de predicción de cada resultado fue mayor que el de los resultados de los modelos estadísticos. Esto significa que las predicciones realizadas por las redes desarrolladas tienen más incertidumbres que las predicciones de los modelos estadísticos. Esto puede deberse a las limitaciones de la estructura escogida para las redes: *feedforward*. Por lo cual, en un futuro trabajo, se considerarán otras redes con diferentes estructuras.

REFERENCIAS

Box G. E., G. M. Jenkins, *Time Series Analysis: Forecasting and Control*, San Francisco: Holden-Day, 1976.

Cerna-Vázquez D., C. Lino-Ramírez, A. Díaz-Ramírez, J. F. Mosiño, M. A. Casillas-Araiza, R. Baltazar-Flores, G. Mendez-Zamora, Red neuronal Backpropagation para la predicción de datos de contaminación y prevención de ataques a personas con padecimientos de rinitis alérgica y asma,*Research in Computing Science*, 139, 47-57, 2017.

Chatfield C.,*Theanalysisof time series: anintroduction*, CRC Press, 2004.

Devijver, P. A., J. Kittler, *PatternRecognition: A StatisticalApproach*, Londres: Prentice-Hall,1982

Gutiérrez J. J., S. L. Martínez, C. A. Martín, Predicción de datos para uno y doce pasos sobre serie de tiempos con redes NARX,*VIII Jornadas de Ciencia y Tecnología de las Facultades de Ingeniería del NOA*, Catamarca: Universidad Nacional de Catamarca, 2011.

Holt C. C.,ForecastingTrends and SeasonalbyExponentiallyWeightedAverages, Office of Naval ResearchMemorandum,*International JournalofForecasting*, 20(1), 5-10, https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2003.09.015, 2004.

Martínez S. L., E. E. Tarifa, Predicción de series temporales con redes neuronales de tiempo diferido y recurrentes,*IV Jornadas de Ciencia y Tecnología de las Facultades de Ingeniería del NOA*, Santiago del Estero: Universidad Nacional de Santiago del Estero, 2008.

Martínez S. L., E. E. Tarifa, S. Franco Domínguez, Controlador neuronal incremental aplicado a un mezclador de flujos,*XIX Congreso Argentino de Ciencias de la Computación* (CACiC 2013), 2013.

Miloshevich G., B. Cozian, P.Abry, P.Borgnat y F. Bouchet, Probabilisticforecastof extreme heatwaveusing convolucional neural network in a regimeoflackof data,*PhysicalReviewFluids*, 8, 040501. DOI: 10.1103/PhysRevFluids.8.040501, 2023.

Pino R., D.de La Fuente, J. Parreño, P. Priore, Aplicación de las Redes Neuronales Artificiales a la Previsión de Series Temporales No Estacionarias o No Invertibles, *QÜESTIIÓ*, 26(3), 1-19, 2002.

Racine J. S.,*Reproducible econometricsusing R*. Oxford: Oxford UniversityPress, 2019.

Xu X., Y. Zhang, Canola and soybeanoilpriceforecastvia neural networks,*Advances in ComputationalIntelligence* (ADCI), DOI: 10.1007/s43674-022-00045-9, 2022.

Introducción a los modelos arquitectónicos y de comportamiento de agentes inteligentes en la ingeniería de videojuegos

Vega, Ariel Alejandro[1]; Sosa, Gustavo Sebastián[1];Tejerina, Mario Alberto.[1]

(1) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.
avega@fi.unju.edu.ar; gustso@fi.unju.edu.ar; mtejerina@fi.unju.edu.ar

RESUMEN

La creación profesional de videojuegos adopta elementos de los procesos de desarrollo software; a su vez que incorpora otros que se aplican en las disciplinas de producción creativa,tales comolas de la industria del cine. El objetivo de este trabajo consiste en realizar una reflexión sobre el marco teórico de diferentes modelos arquitectónicos y de comportamiento aplicados en el desarrollo de videojuegos,con el objetivo de describir los aportes que brindan a la ingeniería de videojuegos y las diferencias que proponen respecto de la ingeniería de videojuegos y la ingeniería del software. Este marco de referencia será el punto de partida para las actividades desarrolladas en el marco de un Proyecto de Investigación aprobado en la Convocatoria Proyectos Integrar (Código D/I006) denominado Modelo arquitectónico para desarrollos de videojuegos que utilizan agentes inteligentes, con financiamiento de la Secretaría de Ciencia y Técnica y Estudios Regionales de la Universidad Nacional de Jujuy a ejecutarsedurante el período 2023-2024.

ABSTRACT

Professional video game creation adopts elements of software development processes; At the same time, it incorporates others that are applied in the disciplines of creative production, stories such as those of the film industry. The objective of this work is to reflect on the theoretical framework of different architectural and behavioral models applied in the development of videogames, with the aim of describing the contributions they provide to videogame engineering and the differences they propose with respect to the game engineering and software engineering. This reference framework will be the starting point for the activities carried out within the framework of a Research Project approved in the Integrar Projects Call (Code D/I006) called Architectural model for video game developments that use intelligent agents, with financing from the Ministry of Science and Technology and Regional Studies of the National University of Jujuy to be carried out during the period 2023-2024.

Palabras claves: Ingeniería – Videojuegos – Modelos – Agentes

Keywords: Engineering – Videogames – Models – Agents

1. INTRODUCCIÓN

En la Ingeniería de Software el producto construido es una correcta aplicación informática obtenida como fruto de la ejecución de diferentes fases de desarrollo en las cuales se utilizan metodologías, herramientas, técnicas de desarrollo y documentación.
Según Zimmerman (2003) “el videojuego es una aplicación software en la que uno o más jugadores toman decisiones controlando objetos y recursos del juego, en la búsqueda de su objetivo”. Así, un videojuego es una aplicación interactiva que brinda al jugador una experiencia inmersiva que pretende satisfacer las necesidades de diversos campos de acción, tales como: la educación, el entretenimiento, las industrias, el gobierno y la economía digital.
Un elemento distintivo en el desarrollo de videojuegos es que se requiere la colaboración de diseñadores de disciplinas muy diferentes, tales como animadores, diseñadores, modeladores de personajes, artistas de texturas, programadores y compositores de audio, entre otros. Tal como lo menciona Keith (2010) “para poder gestionar de manera efectiva esta complejidad es importante

que estas disciplinas colaboren utilizando una cadena de comunicación", como la que se muestraen la Fig 1.

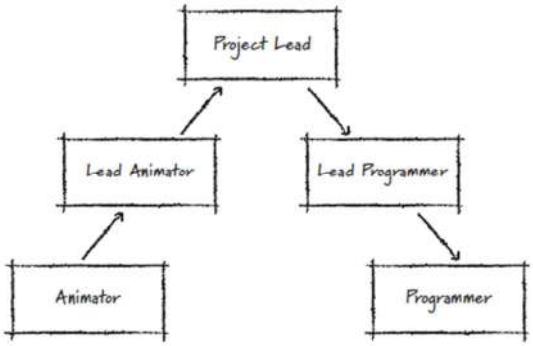


Figura 1. Canal de comunicación (Keith,2010)

Como lo sugiere Aleem et al. (2016) "la gestión de los procesos que involucran las actividades de las disciplinas que conjugan las artes creativas con los requisitos tecnológicos y funcionales para la creación de un videojuego, plantea la necesidad de estudios que proporcionen directrices para el proceso de desarrollo de software de videojuegos con calidad".

Para dar respuesta a estos aspectos, "la ingeniería de videojuegos es la disciplina que se encarga de diseñar, programar y optimizar los sistemas y componentes que forman parte de un videojuego. Esta disciplina se enfoca en la creación de herramientas y tecnologías que permiten a los desarrolladores crear videojuegos con un alto nivel de calidad y rendimiento" (Parente, 2023).

El nivel de interactividad que implican los videojuegos puede plantear escenarios particulares que diferencian la ingeniería de videojuegos de la ingeniería del software. En este trabajo se describirán los modelos usados en videojuegos que afirman esta idea y que deben ser considerados al momento de desarrollar videojuegos que utilizan agentes inteligentes.

2. MODELOS BASADOS EN EL COMPORTAMIENTO

Como lo comenta González (2017), se puede "atribuir muchos de los fracasos en proyectos de desarrollo de videojuegos al diseño arquitectónico de los mismos" en gran parte a la necesidad de gestionar un equipo multidisciplinario con expertos de diferentes dominios tales como el software, la animación, la musicalización y la narración.

En el proceso de desarrollo de un software, la determinación de los requisitos funcionales constituye un aspecto central. Los requisitos funcionales determinan el funcionamiento del sistema, es decir especifican el "qué" debe hacer el sistema y representan las reglas de negocio.

En el caso de los videojuegos, las reglas de negocio se determinan en base a la estéticaque se desea que viva el jugador. Tal como señala Quintana (2021), formalmente, la estética describe las respuestas emocionales que se desea provocar en el jugador cuando interactúa con el sistema de juego. A su vez, la estética es provocada por las dinámicas adoptadas por cada jugador. Las dinámicas involucran los comportamientos o estrategias en tiempo real que realizan los jugadores al combinar sus decisiones con las repuestas disponibles a través de los diferentes comandos que puede realizar a través del tiempo.Las respuestas disponibles dentro de un videojuego se denominan mecánicas y se refieren tanto a las diversas acciones, comportamientos y mecanismos de control proporcionados al jugador dentro de un contexto de juego; como al mismo contenido del juego (niveles, recursos, etc.).

Según Hernández y Pérez (2017). en la especificación de requisitos de los videojuegos "no solo se definen requisitos funcionales, sino mecánicas, que engloban los elementos que conforman al videojuego como sistema, a nivel de escena y por detrás de ella". Estas mecánicas apoyan la dinámica general del juego y provocan la estética del videojuego ya que "constituyen reglas basadas en un sistema de simulaciones, que facilitan y fomentan en el usuario la necesidad de aprender y explorar propiedades en un ambiente virtual" (Hernández, 2017).

En este sentido, la estética y las dinámicas se conciben como requisitos no funcionales que guían la elicitación de los requisitos funcionales (las mecánicas del videojuego). Así, según Alemm et al. (2016) los principales desafíos en la identificación de los requisitos de un videojuego son:

- La comunicación de los intereses de los stakeholders (la empresa de desarrollo de videojuegos).
- La incorporación de los requisitos no funcionales en los requisitos del gameplay, tales como la integración de tecnologías y medios.

- La validación de los requisitos no funcionales que dependen de los jugadores (la estética, lo cual es muy complejo de determinar, por ejemplo “cuan divertido es el videojuego”)

Este último desafío depende de criterios emocionales, factores cognitivos y requisitos sensoriales (principalmente auditivos y visuales). Como conclusión, al abordar el desarrollo de videojuegos la fase de especificación de requisitos debe abordar la generación de los requisitos funcionales a partir de los requisitos no funcionales.

2.1 *El modelo del framework MDA*

La especificación de requisitos y el diseño de un videojuego resulta complejo y riesgoso debido a la naturaleza empírica de este tipo de software. La creación de un videojuego puede demandar varios años, por lo que un fracaso comercial o social se debe evitar lo máximo posible.

El framework MDA es una especificación y una herramienta para estudiar y diseñar videojuegos. Propone el estudio y/o concepción de un videojuego mediante la identificación de sus artefactos, assets o componentes. Dentro del contexto de este framework, un asset es un sistema que construye comportamientos a través de interacciones. Así, la idea central de MDA es que el comportamiento de un videojuego representa su contenido, con lo cual su correcta identificación ayuda a las decisiones referidas al análisis y diseño (Ponce Guzman, 2019).

MDA propone clasificar los assets en las siguientes categorías o capas: mecánicas, dinámicas y estética. Los conceptos de estas categorías coinciden con los de Quintana (2021). Estas categorías se consideran vistas del juego, independientes una de otras, pero casualmente relacionadas entre sí; que permiten el análisis y diseño de un videojuego desde dos perspectivas: la del jugador y la del diseñador.

Desde la perspectiva del jugador, el desarrollo de un videojuego se debe centrar en la experiencia del jugador (estética), el cual es creado en dinámicasperceptibles y, eventualmente, mecánicas operables; mientras que en la perspectiva del diseñador el desarrollo debe ser guiado por un diseño de funciones (acorde a la formación de los diseñadores de software tradicional), por lo cual las mecánicas dan lugar a un comportamiento de un sistema dinámico, el cual guía estéticas particulares.

El modelo MDA, permite una visión amplia de las capas desde ambas perspectivas, con el objetivo de poder observar cómo afectan los cambios de una capa a las otras, y como influyen las decisiones de análisis y diseño tanto al desarrollador como al jugador. Esto se puede observar en la Fig. 2.

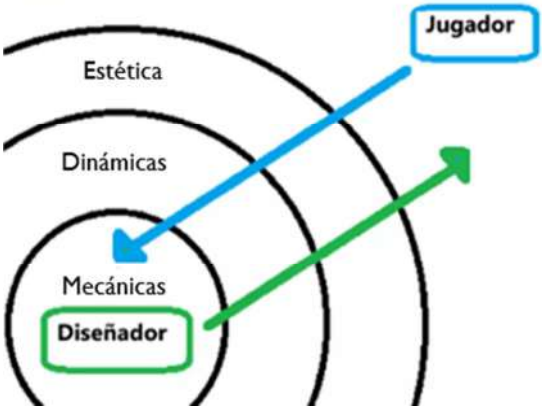


Figura 2: Perspectivas del framework MDA

El impacto del modelo MDA dentro de la industria de videojuegos es destacable por cuanto ha permitido plantear un enfoque de desarrollo orientado al jugador, donde se lo reconoce como un miembro activo (y el más importante) durante todas las etapas de creación de un videojuego. En este sentido, se asemeja a los actuales modelos ágiles de desarrollo de software, donde se comparten los valores promulgados por los pilares de la agilidad, así como los principios del manifiesto ágil; ambos expresados en Hadida y Trolio,(2020); con la diferencia de que el cliente no es el consumidor final del producto. Los clientes son los jugadores del videojuego, con características únicas, que la empresa desarrolladora de videojuegos intenta llamar la atención para que consuma su producto. Así, el jugador no expresará los requisitos funcionales que desea del juego, sino la estética que espera alcanzar al jugarlo.En este sentido, Lange-Nielsen (2011) intuye que al momento de ahondar en la dimensión del gameplay (las acciones de los jugadores, sus estrategias adoptadas o sus motivaciones) el diseñador de videojuegos intentará traducirlas e identificarlascomo “objetivos estéticos”. Así, un juego puede perseguir diferentes objetivos estéticos. Si se establece similitudes de conceptos, gameplay y dinámicas son lo mismo dentro del modelo MDA, entonces el éxito de aplicación del framework

depende de la capacidad de diseñador de interpretar la estética del juego a partir de las dinámicas de juego que exprese el potencial jugador. Esto es lo que el modelo expresa al indicar que, desde la perspectiva del diseñador de juegos, la elaboración e implementación del sistema que el juego pone a disposición del jugador es el equivalente a las dinámicas que elabora el jugador mientras juega. La Fig. 3. esquematiza esta idea.

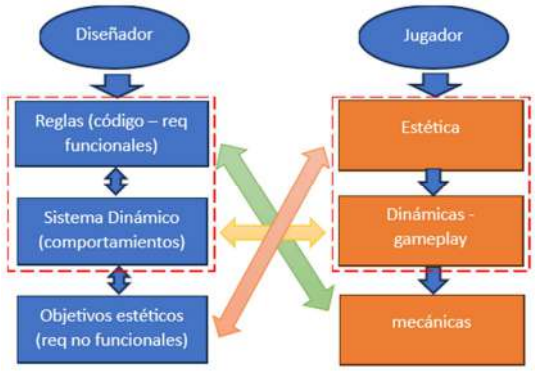


Figura 3: Relación entre modelo MDA y el concepto de Gameplay (elaboración propia a partir de Lange-Nielsen (2021))

La Fig. 3 también resalta que el diseñador debe poder programar mecánicas, que puedan ser combinadas de diferentes maneras por el jugador, para que pueda generar diferentes estrategias y así obtener diferentes experiencias estéticas.

2.2 *Otros modelos de comportamiento*

Ralph &Monu (2014) elaboró el framerork MTDA+N, el cualcombina el modelo MDAcon el modelo Elemental Tetrad. El modelo Elemental Tetrad establece que los componentes de un videojuego se clasifican en cuatro categorías principales: mecánicas, tecnología, estéticas e historia. Las mecánicas y las estéticas tienen el mismo significado que en el modelo MDA, mientras que la historia representa la secuencia de eventos que toman lugar en el juego y la narrativa del juego, y la tecnología hace referencia a las herramientas y sistemas para construir el juego debido a que la tecnología influye sobre la capacidad de generar ciertas experiencias, o en la forma de realizarlas. Además, si bien cada uno de estos son igualmente importante, resulta que algunos aspectos son más visibles que otros para el jugador, tal como lo expresa al Fig. 4.

Como este modelo no es útil para el desarrollador, ya que solo considera la perspectiva del jugador, pero considera dos nuevos componentes importantes, la propuesta MTDA+Nlos integra al modelo MDA.

Tal como lo expresa Ponce Guzmán (2019), la Fig. 5 describe que “los jugadores interactúan con las mecánicas del juego y pueden experimentar narrativas embebidas a través de las tecnologías. Las dinámicas y posiblemente las narrativas emergentes surgen de las interacciones en el juego.

Las estéticas y posiblemente las narrativas interpretadas son formadas en la mente del jugador; estas son afectadas por las dinámicas y posiblemente las narrativas emergentes y embebidas”.

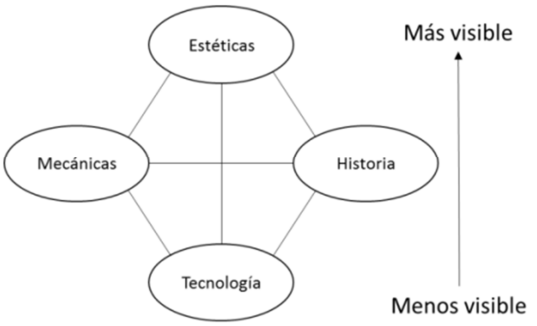


Figura 4: Modelo Elemental-Tetrad

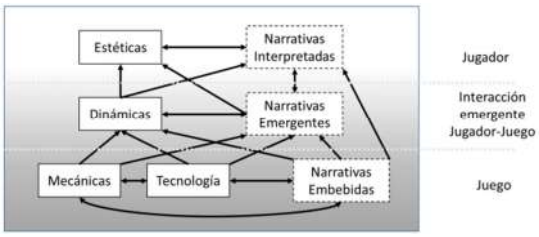


Figura 5: Modelo MTDA+N

Así como MTDA+N, existen otros modelos que utilizan como base MDA para incorporar aspectos que son considerados esenciales debido a características especiales del juego. Por ejemplo, Rogeior y Silva (2021) proponen una redefinición del modelo a partir de su taxonomía llamándola Redefinición de MDA (RMDA), “proporcionando un mejor uso del enfoque desde la perspectiva de un diseñador, adoptando las propiedades de diseño del dominio y superando los problemas encontrados en la literatura del dominio del juego”. De esta manera la

propuestaes más comprensible y útil para los diseñadores de juegos.
A.G.E. Framework es otro modelo interesante basado en MDA. Propuesto por Dillon (2012), su enfoque es adecuado para un entorno de enseñanza donde se guía a diseñadores de juegos principiantes en el proceso de formalizar sus ideas de una manera coherente y consistente.
Sin embargo, a pesar de las nuevas y valiosas propuestas que han aparecido en los últimos años, tal como menciona Ortega Arrieta y Dávila (2023), luego de realizar una recopilación de casos de estudio sobre análisis y diseño de videojuegos, el framework MDA sigue siendo el modelo más usado como "uno de los principales visores" para analizar el conocimiento envuelto en un juego, o como propuesta para desarrollar nuevos frameworks para juegos serios.

3 MODELOS BASADOS EN LA ARQUITECTURADEL VIDEOJUEGO

Una vez identificadas las mecánicas, las dinámicas y la estética del videojuego, resulta adecuadoen primera instancia,clasificarlas mecánicas según su nivel de importancia para que los diseñadores puedan poner el énfasis en las mecánicas adecuadas que permitirán que el videojuego le brinde al jugador la posibilidad de construir las dinámicas propuestas.
El estudio InitionStudius; una empresa desarrolladora de videojuegos; propuso el modelo arquitectónico para las mecánicas de juego expuesto en la Fig. 6. En este modelo, el gameplay central del videojuego es definido por el conjunto de mecánicas que son indispensables para ganar el juego.

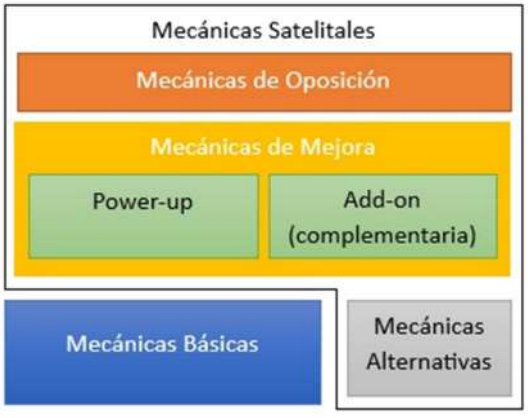


Figura 6: Modelo arquitectónico para mecánicas de juego (Elaboración propia a partir de Fabricatore (2007))

Las mecánicas básicas son las más importantes, en el sentido de que el jugador las utilizará durante la mayor parte del juego.
Las mecánicas satelitales son consideradas un tipo especial de mecánicas, que permiten enriquecer el gameplay central del videojuego sin incrementar la complejidad que supondría agregar o cambiar significativamente las mecánicas básicas del juego. Su diseño se fundamenta en las mecánicas básicas existentes. Hay tres tipos de mecánicas satelitales: las de mejora,las alternativas y las de oposición.
Las mecánicas de mejora permiten agregar nuevas funciones a una mecánica existente omodificar una característica existente. Existen dos tipos de mecánicas de mejora: los power-ups y las add-on.
El power-up tiene el único propósito de cambiar una característica existente potenciándola, de allí que también se los denomine potenciadores. Por ejemplo, en Super Mario Bros, el hongo constituye un potenciador ya que dota al jugador de la posibilidad de saltar más alto, romper bloques y resistir un ataque sin morir. Además, permite la polivalencia, lo que enriquece la experiencia del jugador realizando actividades de diferentes formas. Por otro lado, los power-ups se pueden considerar verdaderas nuevas mecánicas básicas.
Las mecánicas complementarias o add-onagregan nuevas funcionalidades a las mecánicas básicas, lo cual le permite al jugador generar nuevas dinámicas.En un juego del estilo shooter generalmente el juego permite cambiar el tipo de disparo. Las características de cada uno de estostipos de disparos provocan que la estrategia del jugador sea diferente, además, lleva a que el jugador decida experimentar diferentes tipos de estilos de gameplay.
Las mecánicas alternativas brindan a los jugadores la oportunidad de realizar la misma actividad utilizando una mecánica totalmente nueva; por lo que exige del jugador un nuevo aprendizaje, un precio que muchos jugadores están dispuestos a pagar si eso les permite abordar las mismas actividadesde una manera nueva.
Finalmente, la mecánica de oposición constituye un obstáculo en el progreso del jugador que incrementa el desafío del juego. El jugador

intentará evitarlos, aunque pueden generarse situaciones en las cuales puedan utilizarse como herramientas para superar ciertos desafíos, vencer enemigos, etc.
Este modelo plantea que las mecánicas de mejora se diseñan como extensiones de las características de una mecánica básica. Por el contrario, la ubicación de las mecánicas alternativas indica que su diseño pretende que el jugador pueda hacer las mismas cosas, pero de formas verdaderamente diferentes; mientras que las mecánicas de oposición se ubican en la parte superior ya que deben diseñarse considerando el funcionamiento interno de las demás. Además, las mecánicas de mejora se ubican por arriba de las mecánicas alternativas, lo cual refleja el hecho de que se debe considerar la posibilidad de potenciarlas o agregarles funcionalidad.

3.1 *Aplicación de los modelos en el desarrollo*

El proceso de desarrollo de un videojuego genéricamente se divide en fases perfectamente distinguidas, aunque no siempre perfectamente delimitadas: preproducción, producción, postproducción y mantenimiento.
Según Callele et al. (2005), la Fig. 7 "modela los procesos de desarrollo de un videojuego como dos esfuerzos consecutivos. El lado izquierdo del diagrama representala fase de preproducción, resultando en un Documento de Diseño de Juego (en inglés, GDD). La preproducción corresponde vagamente a los esfuerzos internos del cliente para definir sus deseos y necesidadesantes de reunirse con el equipo de desarrollo."

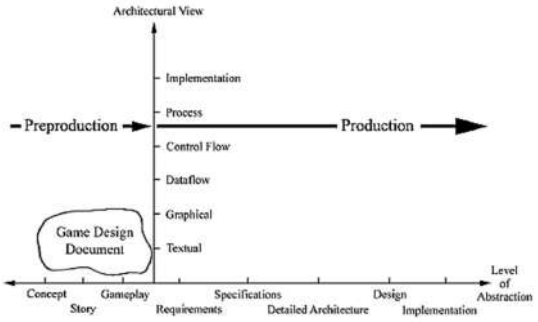


Figura 7. Desarrollo de un videojuego

El GDDexpresa la idea principal del videojuego en su mayoría a través de lenguaje natural.
Si se utiliza el framework MDA como una actividad previa al GDD, tanto las colaboraciones de los artistas, como la idea central del videojuego se definirá en términos de la estética e inmersión a generar y facilitará la captura de los requisitos funcionales (mecánicas de juego), ya que tal como lo expresa Collele et al. (2005) durante la fase de producción "el GDD es analizado (con la asistencia de los diseñadores de juegos) para capturar los requisitos del sistema que luego se traducen como una especificación formal.Una vez completada la especificación, se aplica un modelo de proceso de desarrollo de software (a menudo iterativo)".
La clasificación de las mecánicas facilitaría el orden de las iteraciones para el desarrollo del juego y brindarían el marco de referencia para poder modelarlos según las herramientas y técnicas que manejan los programadores, minimizando errores en la interpretación de la especificación de requisitos y cambios en la idea central del juego o su gameplay.
También, la implementación de las mecánicas y dinámicas, se pueden planificar mediante la elaboración de Historias de Usuario. Las historias de usuario captan las necesidades funcionales que debe cubrir el software. En el caso de los videojuegos captarán las mecánicas y la jugabilidad esperada del videojuego desde el punto de vista del jugador. En la Fig. 8 se puede observar un ejemplo de Historia de Usuario típico dentro del desarrollo de un videojuego.

Id: HU-01	**Usuario: Jugador**
Nombre de la Historia de Usuario: Controlar la potencia con la que se patea una pelota	
Prioridad: Alta	**Duración:** 4 horas
Descripción: Como jugador quiero tener el control de la fuerza con la que pateo una pelota.	
Observaciones: Cada jugador de este juego de futbol tiene características propias de velocidad, potencia y resistencia máxima, que puede decrecer por el ritmo del partido. Aún así dentro del valor actual de la potencia, es necesario que pueda elegir si patearé con toda la potencia que poseo o si lo hago con otra menor.	
Condiciones de satisfacción: Al presionar el botón para patear y soltarlo luego de un segundo la pelota sale con el máximo de potencia que mi jugador puede generar. Al presionar el botón para patear y soltarlo inmediatamente la pelota sale con un mínimo de potencia.	

Figura 8. Las historias de usuario como medio para modelar las mecánicas de un videojuego.

Las historias de usuario se agrupan dentro de cada sprint, y generalmente se organizan bajo un criterio de prioridad. También se les asigna un tiempo estimado de desarrollo y resulta muy útil establecer los criterios de satisfacción ya que ayudarán a verificar su finalización. Una ventaja adicional de las historias de usuario es que promueven el dialogo entre el equipo de desarrollo, ya que deben discutir su significado antes de incluirlo al product backlog, logrando de

esta manera que se exponga ante todo el equipo lo que se espera de esta historia de usuario, y como consecuencia de esto, el equipo entiende lo que se espera de la mecánica y se promueve la retroalimentacióndel resto del equipo. Esto resulta altamente valioso al momento de tener que combinar disciplinas tan diferentes como ser: la narración, la animación, la generación de sonidos y la programación.

La validación del gameplay central del videojuego, y de los objetivos estéticos puede realizarse mediante el desarrollo rápido de prototipos donde se evalué el testeo de la jugabilidad respondiendo a dos preguntas(Llansó García, 2014):

- "¿El videojuego cumple los objetivos de diseño?
- ¿Los jugadores se entretienen al nivel deseado?"

3.2 *Diseño orientado a componentes en la fase de Producción*

En un videojuego, las mecánicas se modelizan de manera similar a los objetos del paradigma orientado a objetos, ya que se deben describir sus propiedades, comportamientos y relaciones.

Estos objetos pueden utilizarse para representar las diferentes piezas de un videojuegoque se denominan gameobjects. Tal como lo expresa (Llansó García, 2014) estas piezas tienen dos naturalezas: lógica autocontenida y contenido interactivo y, en su conjunto pueden llevar a cabo las diferentes tareas dentro de un videojuego: renderización de personajes, recursos y escenarios, tomar o seguir decisiones, cambio de cámara, generación de gameobjects, entre otros.

Un conjunto importante de estas piezas conforma un sistema de gestión de los aspectos físicos que rigen todo el mundo virtual del videojuego, por lo cual se ocupa de la creación y destrucción de los gameobjects, así como del denominado gameloop, que controla el orden de renderización, la ejecución de la lógica del negocio del videojuego y la gestión de la captación y respuesta de los eventos asociados a los procesos de entrada/salida. Este aspecto es fundamentalmente importante, ya que el mundo virtual se ejecuta de manera paralela a los procesos de entrada/salida y no dependen de estos últimos; por lo cual los manejos estándares que ofrecen los lenguajes de programación para la gestión de eventos no son adecuados.

El autor también expresa que la complejidad de este sistema de gestión requiere una arquitectura altamente flexible. Actualmente, los motores de juegos son los encargados de llevar a cabo estas tareas, por lo que se libera a los desarrolladores de su implementación. Según (Llansó García, 2014) un motor de videojuegos puede asemejarse a un framework que opera como front-end, tal como se visualiza en la Fig. 9.

Si el motor de videojuegos se asemeja a un framework front-end, los maps, la vista lógica, los modelos, los archivos de sonido y los scripts constituyen el back-end donde el desarrollador puede personalizar el desarrollo del juego para "controlar el flujo del juego y representar el estado y comportamiento de las entidades del juego" (Llansó García, 2014).

Tanto las entidades del front-end, como las del back-end se organizan actualmente siguiendo el paradigma orientado a objetos, con excepción de la aplicación de la jerarquía basada en la herencia. Esto se debe a que la interrelación entre los gameobjects de la capa front-end y las definidas por el desarrollador en la capa back-end resulta difícil de manipular y mantener mediante los mecanismos que ofrece la herencia de objetos.

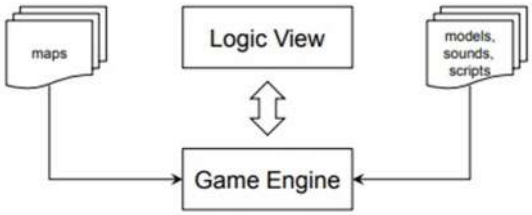


Figura 9. Vista de la arquitectura de un videojuego. Fuente: (Llansó García, 2014, página 20).

Para lograr obtener los beneficios de reusabilidad y facilidad de mantenimiento que típicamente se lograban a través de la generalización de objetos se recurre a la composición dinámica. Este mecanismo se denomina Arquitectura Basada en Componentes. En esta arquitectura un componente representa una pequeña porción de funcionalidad idealmente autocontenida que puede ser agregada o eliminada a una entidad del juego. Esta forma de representación se asemeja a una combinación de los patrones de diseño Command y Decorator que permite crear gameobjects en tiempo de ejecución, lo que aporta flexibilidad y potencia la reutilización (Llansó García, 2014).

En esta arquitectura una sola entidad abarca varios dominios. Para mantener aislados los dominios, cada uno de ellos mantiene su propio estado y comportamiento por separado a la entidad principal. Así, la entidad se reduce a un simple contenedor de componentes y cada vez que requiera un comportamiento en particular se le deberá asociar el componente pertinente, tal como se puede visualizar en la Fig. 10.

Esta es una implementación del patrón de diseño Component. Este patrón agrega algo de complejidad. Cada objeto conceptual se convierte en un grupo de objetos que deben instanciarse, inicializarse y conectarse correctamente. La comunicación entre los diferentes componentes se vuelve más desafiante y se debe controlar cómo ocupan espacio en memoria. La principal ventaja que ofrece este patrón de diseño consiste en un mecanismo que facilita el desacoplamiento y la reutilización de código.

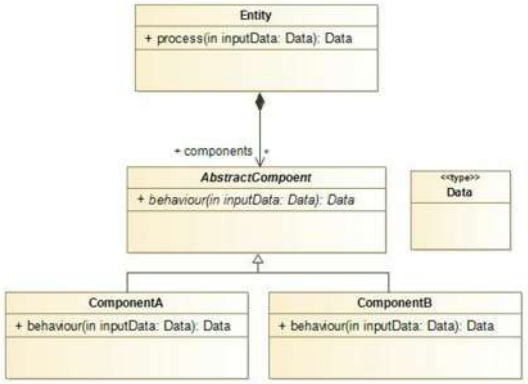


Figura 10. Patrón de diseño Component aplicado para el diseño de videojuegos orientado a componentes.

Otra consecuencia del uso de componentes es que a menudo hay que pasar por un nivel de direccionamiento indirecto para hacer algo. Dado el objeto contenedor, primero debe obtener el componente que desea, luego puede hacer lo que necesita. En bucles internos de rendimiento crítico, este puntero puede conducir a un rendimiento deficiente.

4 MODELOS DE COMPORTAMIENTO PARA AGENTES INTELIGENTES EN VIDEOJUEGOS

La implementación del comportamiento de agentes inteligentes aplica diversas técnicas para su modelado. De la misma manera, existen diversas técnicas de Inteligencia Artificial (IA) que provocan los comportamientos modelados. Respecto de este último, las mejoras en IA se están particularmente probando cada vez más en entornos virtuales tales como los videojuegos. A pesar de esto, la IA aborda mayoritariamentetres necesidades básicas de los juegos modernos: la capacidad de mover personajes, la capacidad de tomar decisiones sobre dónde moverse y la capacidad de pensar táctica o estratégicamente.

Millington (2009) propone el modelo para estudiar la representación del comportamiento mediante técnicas de IA que puede observarse en la Fig. 11.

Este modelo divide las áreas de aplicación de IA en tres secciones: movimiento, toma de decisióny estrategia. Las primeras dos secciones contienen algoritmos que se aplican personaje por personaje, mientras que la última trabaja de manera aislada pero afecta a las dos primeras. Alrededor de estos tres elementos de AI existe un conjunto completo de infraestructura.

No todas las aplicaciones de juegos requieren todos los niveles de IA. Los juegos de mesa como el Ajedrez sólo requierenel nivel de estrategia; las piezas del juego no tomansus propias decisiones y no necesitan preocuparse por cómo van a moverse ya que está establecida por las reglas del juego. En este caso, la IA simula otro jugador, quien estratégicamente decide su próximo movimiento.

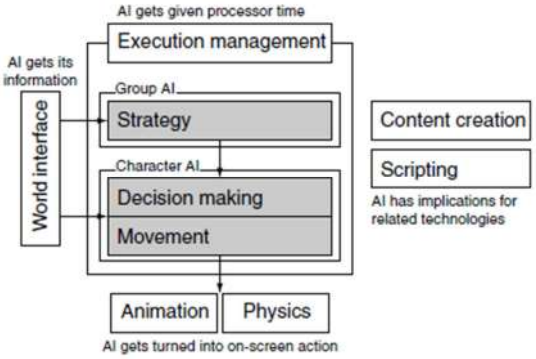


Figura 11. Modelo de IA para videojuegos

La IA del movimiento del personaje se refiere a los algoritmos que convierten las decisiones en algún tipo de movimiento. Por ejemplo, cuando un personaje enemigosin arma necesita atacar al jugador en Super Mario Sunshine, primero se dirige directamente al jugador. Cuando está lo suficientemente cerca, podría llevar a cabo el ataque. Esta técnica se basa esencialmente en la

ubicación del jugador y puede representar un nivel de complejidad considerable ya que se requerirá representar una compleja navegación alrededor de obstáculoso caminos.

La IA para la toma de decisiones implica que un personaje determine qué hacer a continuación. Por lo general, cada personaje tieneuna gama de diferentes comportamientos que podrían elegir realizar: atacar, quedarse quietos, esconderse,explorar, patrullar, etc. El sistema de toma de decisiones necesita determinar cuál de estoscomportamientos es el más adecuado en cada momento del juego. El comportamiento elegido puede entonces serejecutado utilizando IA de movimiento y tecnología de animación.En su forma más simple, un personaje puede tener reglas muy simples para seleccionar un comportamiento. Los animales de granja presente en varios de los niveles de los juegos de Zelda se quedarán quietos a menos que el jugador se acerque demasiado, yentonces se alejarán una pequeña distancia.

En el otro extremo, los enemigos del videojuegoHalf-Life 2 presentan una toma de decisiones compleja,donde probarán una serie de estrategias diferentes para llegar al jugador: encadenar acciones tales como lanzar granadas y flanquearlo en grupo para acorralarlo. Algunas decisiones pueden requerir IA de movimiento. En un ataque cuerpo a cuerpola acción requerirá que el personaje se acerque a su víctima.

La IA de grupo estrategia se refiere a un enfoque general utilizado por un grupo de personajes.En esta categoría se encuentran los algoritmos de IA que no controlan un único carácter, sino que influyen en el comportamientode todo un conjunto de personajes. Cada personaje del grupo puede (y normalmente lo hará) tener sus propios algoritmos de toma de decisiones y movimiento, pero en general su toma de decisiones se verá influenciadapor una estrategia de grupo.

Los algoritmos de IA requieren una infraestructura adicional que les permita utilizar información del juego para tomar decisiones sensatas.Esto se denomina percepción: determinar cuál es la información que el personaje conoce. Esta infraestructura incluye las interfaces entre el mundo del juego y la IA. Esta interfaz mundial es a menudo la que la mayorproporción del esfuerzo de depuración requiere por parte del programador de IA.Finalmente, todo el sistema de IA debe administrarse para que use la cantidad correcta de tiempo de procesador y memoria. Generalmente esto es administrado por el motor de juegos.

Los agentes inteligentes son entidades computacionales autónomas y concapacidad para ejecutar tareas y lograr sus metas con un mínimo de supervisión humana o incluso ninguna.Alvarez et al. (2017) señala que las características de los agentes inteligentes son:

- Reactividad: responden inmediatamente a los cambios percibidos en su entorno.
- Distribución de tareas: cada agente tiene funcionalidades bien definidas e identifica los problemas a resolver.
- Proactividad: los agentes toman iniciativa para la solución de problemas.
- Cooperación y coordinación:realizan tareas por medio de intercambio de mensajes con otros agentes a través de un lenguaje común
- Autonomía: No requieren de la intervención directa de los seres humanos para operar.
- Deliberación: cada agente tiene la capacidad de realizar procesos de razonamiento interno los cuales lepermitan tomar decisiones.
- Movilidad: pueden moverse de un nodo a otro a través de la red.
- Adaptación:a partir de los cambios en el entorno cambian su comportamiento y mejoran de esta forma su desempeño.
- Paralelismo: el sistema puede mejorar su desempeño a través de la ejecución de tareasrealizadas en paralelo por los agentes.

Gracias a estas características, la aplicabilidad de los agentes inteligentes es muy amplia. En el campo del desarrollo de videojuegos Millington (2009) sugiere que los agentes inteligentes son “personajes autónomos que toman informacióna partir de los datos del juego, determinan qué acciones llevarán a cabo en función de esa información y entonces la ejecutan”. El modelo representa un diseño de abajo hacia arriba: se comienza averiguando cómo se comportará cada personajey mediante la implementación de la IA necesaria se convertirá al personaje en un agente inteligente.

4.1 *La máquina de estados finitos*

Con respecto al modelado del comportamiento inteligente de un videojuego, tal como señala Sagrero Olivenza (2018) uno de los modelos más utilizados es la máquina de estados finitos (en inglés FSM, de Finite Machine State). Conceptualmente, representan un modelo

computacional que realiza operaciones automáticamente a partir de una entrada y generan una salida.Históricamente, han sido una de las técnicas más utilizadas para implementar el comportamiento de los personajes no jugables (en inglés NPC, de Non-Player Character) de los videojuegos:las acciones primitivas que la entidad ejecutará cuando se encuentreen ese estado.

Los diferentes estados están conectados entre sí por condiciones que si se cumplen provocan la transición hacia otro estado. Dentro del estado se realizan acciones o se implementan algoritmos. Conesta configuración, en todo momento un NPCdebe estar dentro de un estado (Jagdale, 2021). Por ejemplo, los fantasmas del juego Pac-man fueron implementadoscomo agentes inteligentes mediante el uso de una FSM similar a la que se presenta en la Fig. 12.

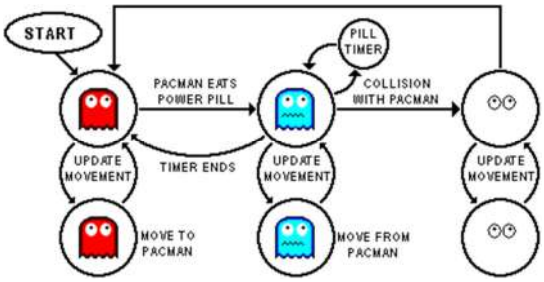


Figura 12. Uso de la FSM para modelar un agente inteligente del videojuego Pac-man (fuente:https://oddwiring.com/archive/websites/mndev/MSB/GD100/fsm.htm)

4.2 *Los árboles de comportamiento*

Los Árboles de Comportamiento (en inglés BT, de BehaviorTrees) son un modelo matemático y formal que posee una representacióngráfica en forma de árbol y que se usa en ciencias de la computación para representar múltiples dominios, tales como sistemas de control. Según Sagrero Olivenza (2018) “se suelen utilizar para controlar el flujo de decisión en la creación de comportamientos de las entidades del juego y gracias a su fácil representación gráfica, es relativamente sencillo de construir herramientas visuales que permitan su edición”. Actualmente existen un numeroso conjunto de proyectos de videojuegospublicados como casos de estudio en conferencias de desarrollo de videojuegos, libros y/o trabajos de investigación.

Cuando se aplican a personajes de videojuegos, cada elección se hace en base al conocimiento del personaje. Debido a que los árboles de decisión se utilizan a menudocomo mecanismos de decisión simples y rápidos, los personajes generalmente se refieren directamente al estado global del juegoen lugar de tener una representación de lo que saben personalmente.

El algoritmo continúa a lo largo del árbol, tomando decisiones en cada nodo de decisión hasta que el proceso de decisión no tiene más decisiones que considerar. En cada hoja del árbol se adjunta una acción. Cuando elalgoritmo de decisión llega a una acción, esa acción se lleva a cabo inmediatamente.

Llansó García (2014) afirma que “la mayoría de los nodos del árbol de decisión toman decisiones muy simples, típicamente con solo dos posiblesrespuestas”. Por ejemplo, al observar la Fig. 13se nota que las decisiones se relacionan con la posición de un enemigo.Tenga en cuenta que una acción se puede colocar al final de varias ramas. En la Fig. 13 se puede observar que la acción de ataque está presente en doshojas.

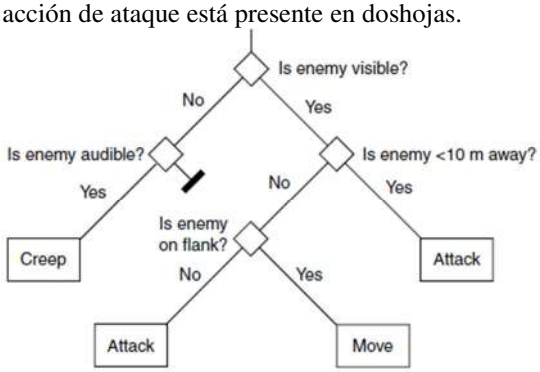


Figura 13. Ejemplo de árbol de decisión

La Fig. 14 muestra el mismo árbol de decisiones luego de que ya se ha tomado una decisión. El camino tomado porel algoritmo se resalta, mostrando la llegada a una sola acción, que luego puede ser ejecutada por el personaje.

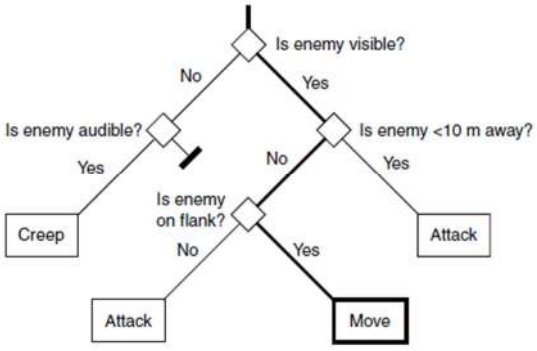


Figura 14. Ejemplo de árbol de decisión con la decisión tomada

El árbol de decisiones es eficiente porque las decisiones suelen ser muy simples. Cada decisión está asociada a una única prueba. Cuando se requieren combinaciones booleanas de pruebas, la estructura de árbol debe representar esta situación.

Para una combinación de dos decisiones mediante el operador Y se procede representándolas en serie. La Fig.15ilustra un árbol con dos decisiones, las cuales deben ser verdaderas para que la acción 1 seallevada a cabo.

Este árbol tiene la siguiente lógica:Si A Y B, entonces realice la acción 1, de lo contrario, realiceacción 2.

Para una combinación de dos decisiones mediante el operador O, también se representan las decisiones en serie. La acción 1 se lleva a cabo sin importar el resultado de la decisión A. Solo si ninguna de las pruebas se supera, se ejecuta la acción 2, tal como se observa en la Fig. 16.

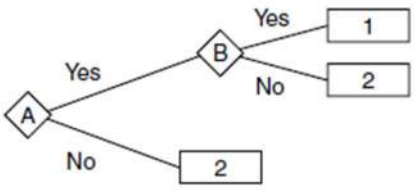


Figura 15. Representación AND en el árbol de decisión

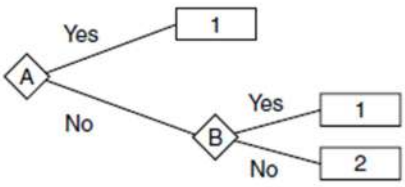


Figura 16. Representación OR en el árbol de decisión

Este árboltiene la siguiente lógica:Si A O B, entonces realice la acción 1, de lo contrario, realice la acción 2.

5 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En este trabajo hemos realizado unestudio sobre diferentes modelos de comportamiento y de arquitectura usados en el desarrollo de videojuegos. Se pudo examinar modelos en los que se comparte terminologías afines sobre los conceptos de mecánicas, dinámicas, estética, gameplay, entre otros y que permiten de esta manera combinarse para ser aplicados en la fase de preproducción y producción de videojuegos. Además, se pudo establecer una comparación entre los requisitos funcionales y no funcionales del desarrollo del software con las mecánicas y la estética de los videojuegos; donde a través del framework MDA se establece que las dinámicas y el diseño del sistema presenta puntos comunes que permiten una interacción entre los desarrolladores y los jugadores.

Se han buscado diferentes frameworks disponibles para la especificación formal de las mecánicas, las dinámicas y la estética del videojuego y se ha propuesto un mecanismo para reducir la incertidumbre en la transición desde la fase de preproducción hacia la fase de producción mediante el uso de historias de usuario, la implementación temprana de prototipos, el modelado basado en el paradigma orientado a componentes y la trazabilidad de la validación entre componentes mediante la propuesta del framework MDA.

La implementación y validación de calidad de estas propuestas serán objeto de un trabajo futuro y desarrollo de resultados dentro del marco del proyecto de investigación denominado Modelo Arquitectónico para desarrollos de videojuegos que utilizan agentes inteligentes.

Con respecto a la aplicabilidad de los agentes inteligentes en videojuegos se planteó la categorización de agentes que propone Millington (2009) para el desarrollo de videojuegos y las técnicas de modelado más utilizadas actualmente en la industria. Este es el punto de inicio por el cual se continuará estudiando las técnicas algorítmicas y de inteligencia artificial presentes para diferentes tipos de genero de videojuegos, así como las tecnologías disponibles para el desarrollo de un agente inteligente en un videojuego.

6 REFERENCIAS

Aleem, S., Capretz, L.F. y Ahmed, F. (2016).Game Development Software Engineering Process Life Cycle: A Systematic Review. *Journal of Software Engineering Research and Development*, 4(6), 1-30.http://dx.doi.org/10.1186/s40411-016-0032-7

Álvarez, S., Salazar, O.M. y Ovalle, D.A. (2020). Modelo de juego serio colaborativo basado en

agentes inteligentes para apoyar procesos virtuales de aprendizaje. *FormaciónUniversitaria*, 13(5), 87-102. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062020000500087

Callele, D., Neufeld, E. y Schneider, K. (2005).Requeriments engineering and the creative process in the video game industry. *13th IEEE International Conference on Requirements Engineering (RE'05)*, 240-250. https://doi.org/10.1109/RE.2005.58

Dillon, R. (2012). Teaching games through the A.G.E. framework. *IGDA Perspectives Newsletter*, 1-7. https://researchonline.jcu.edu.au/24660/

Fabricatore, C. (2007). Gameplay and Game Mechanics: A Key to Quality in Videogames. [Conferencia]. OECD Expert Meeting on Videogames and Education, Santiago de Chile, Chile. http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.1125.4167

Hadida, S. y Troilo, F. (2020).La agilidad en las organizaciones: Trabajo comparative entre metodologías ágiles y de cascada en un contexto de ambigüedad y transformación digital, Serie de documentos de trabajo, No 756. Universidad del Centro de Estudios Macroeconómicos de Argentina (UCEMA). http://hdl.handle.net/10419/238381

Hernández P., A. y Pérez T., K (2017). Criteria for verifying and validating mechanics in the development of videogames. *Revista Antioqueña de las Ciencias Computacionales y la Ingeniería de Software*, 7(1),7-12.https://web.archive.org/web/20180420231518id_/http://fundacioniai.org/raccis/71.html

Hunicke, R., LeBlanc, M., & Zubek, R. (2004). MDA: A Formal Approach to Game Design and Game Research.*In Proceedings of the AAAI Workshop on Challenges in Game AI*, 4(1). https://www.researchgate.net/publication/228884866_MDA_A_Formal_Approach_to_Game_Design_and_Game_Research

Jagdale, D. (2021). Finite State Machine in Game Development. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, 10(1),384-390. http://dx.doi.org/10.48175/IJARSCT-2062

Keith, C. (2010). *Agile Game Development with Scrum*. Addison-Wesley.

Lange-Nielsen, F. (2011). The Power-Up experience: A study of power-ups in games and their effect on player experience. *DiGRA '11 – Proceedings of the 2011 DiGRA International Conference: Think Design Play*, 6,1-16. http://www.digra.org/digital-library/publications/the-power-up-experience-a-study-of-power-ups-in-games-and-their-effect-on-player-experience/

Llansó García, D. (2014). *Metodología ontológica para el desarrollo de videojuegos* [Tesis Doctoral, Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial – Facultad de Informática – Universidad Complutense de Madrid]. E-Prints Complutense Repositorio Institucional de la UCM. https://eprints.ucm.es/id/eprint/25323/

Millington, I. y Funge, J. (2009). *Artificial Intelligence for Games- Second Edition*. Elsevier.

Ortega Arrieta, A.M. y Dávila, G.A. (2023). Propuesta de un Juego Serio para reducer los estereotipos en carreras STEM. *Women inInformationTechnology (WIT),* 17, 282-293. https://doi.org/10.5753/wit.2023.229866

Pamies Cartagena, B. (2019). *Diseño de un agente inteligente para videojuegos tipo Arcade* [Tesis de Maestría, Departamento de Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial – Escuela Politécnica Superior – Universidad de Alicante]. RUA_ Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante. http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/96991

Parente, D. (15 de marzo de 2023).*¿Qué es la ingeniería de videojuegos?*.Daniel Parente Blog. Recuperado el 12 de abril de 2023 de https://www.danielparente.net/es/2023/03/15/que-es-la-ingenieria-de-videojuegos/

Ponce Guzmán, A.Y. (2019). *Arquitectura para concepción de SeriousGames aplicados a la toma de decisiones basados en storellyng interactivo* [Tesis de Maestría, División de Estudios de Posgrado e Investigación – Instituto Tecnológico de Ciudad Madero]. Repositorio Institucional del Tecnológico Nacional de México (RI-TecNM). https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/3076

Quintana-Cruz, H. (2022). Utilización de videojuegos en la industria y en la educación. *Ingeniería Industrial*, (42), 251-264. https://doi.org/10.26439/ing.ind2022.n42.5866

Rogerio, J.y Silva, E. (2021). Redefining the MDA Framework—The Pursuit of a Game Design Ontology. *13th Information 2021,* 12(10), 395. https://doi.org/10.3390/info12100395

Sagrero Olivenza, I. (2018). *Aplicación de técnicas de aprendizaje automático supervisables por el diseñador al desarrollo de agentes inteligentes en videojuegos* [Tesis Doctoral, Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial – Facultad de Informática – Universidad Complutense de Madrid]. E-Prints Complutense Repositorio Institucional de la UCM. https://eprints.ucm.es/id/eprint/49801/