ECUUNCA

CODINOA
Consejo de Decanos de Ingeniería del NOA

INVESTIGACIONES EN FACULTADES DE INGENIERÍA DEL NOA

Revista N° 7 - Año 2021 - ISSN: 1853-6662

INVESTIGACIONES EN FACULTADES
DE INGENIERIA DEL NOA
ISSN: 1853-6662

PROPIEDAD:

Esta publicación es propiedad del Consejo de Decanos de Ingeniería del NOA CODINOA)

PUBLICACIÓN Y COMPAGINACIÓN:

Secretaría de Investigación y Posgrado - Editorial Científica Universitaria - Universidad Nacional de Catamarca - Av. Belgrano N° 300 Edif. Pab. Variante I - 2do. Piso - Predio Universitario. C. P. 4700 - San Fernando del Valle de Catamarca - Catamarca - República Argentina.

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN:

María Noelia Ariza (Editorial Científica Universitaria)

Autoridades

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

Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Jujuy
Ingeniero Metalúrgico Gustavo Alberto Lores

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 Angel Cabrera

ISSN: 1853-6662

Editor General

Cañas, Martha Susana

Comité Editorial

Acosta, Delicia (UNSa)
Benac, María José (UNSE)
Cañas, Martha Susana (UNCA)
López, Gloria del Valle (UNCA)
Manzano, Eduardo (UNT)
Rizo Patrón, Marcia (UNSE)
Rodríguez, Ivan (UNSa)
Santapaola, Julia Eleonora (UNJu)
Sarmiento, Miguel (UNSE)
Vicente, María Soledad (UNSa)

ISSN: 1853-6662

Comité Científi co Evaluador

Acosta, Carina Andrea
Ahumada, Hernán César
Albarracín, Patricia
Albarracín, Verónica
Almirón, Analía
Alonso, María Silvia
Andrada, Oscar
Araujo, Paula
Ayrault, Gilles
Barrionuevo, María Julia
Bellomo, Facundo Javier
Benac, María José
Bevacqua, Cristian Ignacio
Bravo, Álvaro Javier
Budan, Maximiliano Celmo David
Cabello, Alberto
Cañas, Martha Susana
Ceconello, Mauricio Marcos
Chaillou, Lucrecia Lucía
Cheeín de Auat, Nori Esther
Comelli, Nieves Carolina
Coronel, Eve Liz
De la Vega, Adolfo
Demaio, Pablo
Denegri, Gerardo
Dorado, Luis Andrés
Dos Santos, Gonzalo
Erdmann, Eleonora
Eremchuk, Jorge Enrique
Espeche Turbay, María Beatriz
Farfán, Norma Beatriz
Farfán, Roberto
Feldman, Susana R.
Fernández, Rubén Ángel
Fernández, Gabriela Silvia
Fernández, Jorge Luis
Ferreyra, Arturo Lorenzo

Ferreiro, Alejandro
Remigio Franco, Ada Judith
Frau, Silvia Florencia
Fuster, Andrea
Galantini, Juan
Galiano, José Eduardo
Gálvez Díaz, María del Pilar
García, Ariel
Generoso, Silvina Marcela
Ghiggia, Leila Inés
Giménez, María Alejandra
Giunta, Sandra Adriana
Godoy, Carlos Eduardo
Gómez Marigliano, Ana Clelia
Gómez, Sofía Gabriela
González, Mariela
Gramajo, María Cecilia
Gramajo, Mónica Beatriz
Gutiérrez, Juan Pablo
Guzmán, María Fernanda
Herrera, Carlos Gabriel
Herrera, Hilda
Hilal, Mirna Beatriz
Iturriaga, Laura Beatriz
Juárez, Carlos Ramón
Koeltzsch, Grit Kirstin
Kunst, Carlos
Ledesma, Ana Estela
Legiza, Pedro
Lizárraga, Enrique Mariano
Lobo, Manuel Oscar
López, Gloria del Valle
López, Miguel Ángel
Luna Pizarro, Patricia del Carmen
Macdonagh, Patricio
Macián, Ana Josefina
Mainardi Grellet, Lidia Victoria
Maldonado, Marta Silvina
Mamani, Manuel Oscar
Manfredi, Paola Adriana

Martel, Eduardo
Mele, Fernando Daniel
Moller, Oscar
Moraga, Norma
Moran Vieyra, Faustino Eduardo
Namour, Jorge Habib
Nediani, Miriam Teresa
Niz, Adriana Ediht
Núñez, Martha
Ortin Vujovich, Adriana
Panico, Adriana Fátima
Paz Zanini, Verónica Irene
Pece, Nora Beatriz del Carmen
Pérez, Pedro Gerardo
Pettinicchi Menéndez, Susana del Huerto
Quinzio, Claudia Marcela
Raitelli, Mario Roberto
Ramón, Adriana Noemí
Rodriguez, Andrés
Rodríguez, Mirtha Inés
Rodríguez, Sergio Antonio
Rodríguez, Silvia del Carmen
Rosales, Juan Carlos
Sammán, Norma
Sánchez Brizuela, Ricardo Aníbal
Sánchez Reinoso, Carlos Roberto
Santapaola, Julia Eleonora
Schiava, Ricardo
Serrano, Miriam
Silberman, Juan Eduardo
Slavutsky, Aníbal Marcelo
Tarifa, Héctor Ramón
Tereschuk, María Laura
Thomas, Hernán
Valdeón, Daniel
Velázquez, Isabel
Viturro, Carmen Inés

Prólogo

La revista Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA es una publicación que incluye versiones completas de los trabajos presentados en las Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA (JCTNoa). Estas Jornadas se generaron en 2005 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. De carácter multidisciplinario, las JCTNoa permiten año a año la convergencia de áreas del conocimiento relacionadas con ingeniería, ciencias exactas y tecnología, en un mismo foro académico regional de profesionales, docentes, investigadores, estudiantes de grado y postgrado.

Si bien durante los años 2020 y 2021 no pudieron realizarse las Jornadas debido a la pandemia por COVID-19, el consorcio CODINOA acordó impulsar la publicación de números especiales de Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA a fin de dar continuidad a su actividad, como así también visibilizar la producción científico-académica de cada Facultad aún en tiempos extraordinarios.

Para ello, un Comité Editorial conformado por los Secretarios de Ciencia, Técnica, Investigación y Posgrado de las distintas Unidades Académicas gestionó la convocatoria a presentación de trabajos originales según las áreas temáticas que existen en las JCTNoa: Gestión de la Educación en Ingeniería, Ciencias Básicas de la Ingeniería, Tecnologías Básicas y Aplicadas, Computación e Informática, Forestal, Agronomía y Alimentos, Ciencias de la Tierra y Ambiente. Los trabajos se sometieron a un exhaustivo proceso de evaluación con modalidad doble referato, a través de un Comité Científico conformado por 114 profesionales. Para el Número 7 de la revista resultaron aprobadas 59 contribuciones originales.

Los Secretarios de Ciencia, Técnica, Investigación y Posgrado, y las Autoridades de las Facultades que forman el Consorcio CODINOA agradecemos a los autores de los trabajos publicados, a los profesionales que participaron como Miembros del Comité Científico Evaluador por su ardua y desinteresada tarea, y a todos aquellos que colaboraron directa e indirectamente en esta realización.

Dra. Martha S. Cañas
Secretaria de Investigación
Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional de Catamarca

Índice

Ambiente

Aspectos productivos y ecología de la polinización en las fabáceas más utilizadas del "monte" en Santiago del Estero.....17
La ciudad sostenible: mitigación del GEI mediante sumideros de CO2 y eficiencia energética en iluminación en espacios verdes.....25
Medición de parámetros acústicos en un aula universitaria. Comparación de métodos.....33
Sistemas campesinos de Santiago del Estero, crisis de polinizadores y vulnerabilidades. Un acercamiento a través de redes de interacción.....41

Ciencias básicas de la ingeniería

Bioinsumos a partir de extractos de plantas aromáticas.....51
Dispositivos basados en nanohilos de óxido de cinc como sensores ultravioleta.....59

Ciencias de la tierra

Análisis comparativo de modelos hidrodinámicos 2D para la simulación del comportamiento de ríos meandriformes. Río Dulce "La Dormida". Santiago del Estero.....69
Aplicación geodésica de TanDEM-X90 m en Santiago del Estero.....77
Vuelo aerofotogramétrico con tecnología VANT en Lavalle, provincia de Santiago del Estero.....85

Computación e informática

Propuesta de metadatos para repositorio Institucional de Gestión de evidencias móviles.....95

Forestal, agronomía y alimentos

Berenjenas IV gama: problemáticas de su procesamiento.....105
Estudio de la dinámica de carbono orgánico y sus componentes en suelos agrícolas de la zona de Bandera (sureste de Santiago del Estero).....111
Estudio de las propiedades emulsionantes de concentrados de proteínas de suero caprino y bovino.....119
Efecto de ozono gaseoso sobre la calidad microbiológica y la vida útil de rúcula cortada mínimamente procesada.....127

Evaluación de textura sensorial e instrumental de galletas libres de gluten.....135
Caracterización de mieles de limón (*Citrus Lemon*) de la provincia de Tucumán (Argentina) mediante parámetros fisicoquímicos.....143
Caracterización de la anatomía foliar de cuatro malezas en control con glifosato....149
Caracterización de las unidades de producción apícolas presentes en el departamento Silípica Santiago del Estero.....157
Caracterización de un sistema productivo MBGI con enfoque de sistemas e indicadores sustentabilidad.....165
Caracterización sensorial y aceptabilidad de un par libre de gluten.....177
Caracterización tecno-funcional de harinas integrales extruidas de maíz culli y quínoa 185
Costos en la producción de plantines de *Prosopis alba.* Estudio de caso.....193
Germinación, respiración y estrés oxidativo en semillas de *Schinopsis lorentzii* (Griseb.) Engl. tratadas con glifosato.....203
Implementación del control de mastitis y sanidad en un tambo caprino de Santiago del Estero. Estudio del caso.....209
Mejora del secado convencional de zanahoria por aire caliente con pretratamiento de microondas.....215
Permeabilidad de películas de pectina del subproducto del tomate industrializado: efecto del pH y la presencia del glicerol.....221
Propiedades químicas y físicas de harinas proteicas obtenida por hidrólisis enzimática.....229
Residuo de cáscara de limón: diseño preliminar de un dulce.....237
Secado de plasma bovino en lecho de chorro bidimensional.....243
Tecnología sous vide para la conservación de hortalizas. Aplicación en berenjenas (Solanum melongena L.).....249

Gestión de la educación en ingeniería

De la Serie a la transformada de Fourier. Visualización del espectro de frecuencias utilizando GeoGebra.....259
Enseñanza de Ingeniería de Software desde la perspectiva de la gestión estratégica.....267
Impacto del sistema de Ingreso en las Carreras de Ingeniería de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la UTN.....275
Incidencia del recursado en Química General de Ingeniería de la UNSa.....283
La enseñanza y aprendizaje de objetos matemáticos en términos de dialécticas.....291
La derivada de la composición de funciones.....299

Sentimiento hacia el aprendizaje virtual en tiempos de pandemia.....305
Tecnologías para el Aprendizaje. Uso Estratégico de las Actividades.....311
Teoría de grafos y análisis de redes sociales. Caso de estudio.....319

Tecnologías básicas y aplicadas

Aislamiento y evaluación funcional de basterias lácticas autóctonas de Santiago del Estero.....331
Análisis de la producción de energía fotovoltaica en una escuela de la provincia de Jujuy.....337
Análisis macro/meso estructural de hormigones sometidos a altas temperaturas.....345
Análisis térmico de heat pipe tubulares, utilizados en colectores solares para calentar aire.....353
Aplicación de un modelo matemático para evaluar perfiles de liberación de sistemas de administración de fármacos.....361
Artefactos que funcionan y simientes que no germinan: un ejercicio crítico sobre las soluciones a la escasez de agua en un paraje del NOA.....369
Co-inmovilización de α-amilasa y glucoamilasa en perlita expandida para s aplicación en la hidrólisis del almidón.....383
Desarrollo de una metodología para la evaluación de la cinética de liberación de películas activas en alimentos sólidos.....391
Diseño, análisis y fabricación de un prototipo de órtesis inmovilizante de muñeca.....397
Deposición superficial en superficies triangulares modificadas: un estudio de Monte Carlo.....403
Estudio comparativo de paquetes estadísticos utilizados para la optimización del escaldado de granos de choclo.....411
Estudio de comportamiento de vigas de hormigón pretensado reforzado con fibras de acero (HPRF).....419
Estudio teórico empleando índices globales de reactividad y el concepto de transferencia de densidad electrónica global.....427
Evaluación de parámetros de exportación en arándanos tratados con luz UV.....435
Nueva topología de celda de segundo orden para la realización de filtros digitales recursivos de bajo ruido.....443
Rendimiento de colectores heat pipes de placa plana de acero y cobre, para el calentamiento de aire.....451
Sensibilidad del rendimiento de una columna de carbonatación frente a cambios de

temperaturas en las corrientes de entrada.....459
Snack con agregado de calcio: evaluación nutricional y aceptabilidad.....467
Un nuevo método para la regeneración de solvente por hidrogenación.....475
Una nueva alternativa para la esterilización de salas destinadas a pacientes con COVID-19.....483

AMBIENTE



Aspectos reproductivos y ecología de la polinización en las fabáceas más utilizadas del "monte" en Santiago del Estero

Paz, Mauricio M.[1]; Grimaldi, Pablo A.[2] y Céspedes, Fernando, N.[3]

(1) Estudiante de Ing. Agronómica, Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero
maximilianopaz.mp@gmail.com

(2) Centro de Investigaciones Apícolas (CEDIA), Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero; Laboratorio Ecotono, INIBIOMA-CONICET
pablogrim22@gmail.com

(3) Cátedra de Botánica Agrícola, Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero
fernandonicolascespedes@gmail.com

RESUMEN

Fabaceae o Leguminosae es una familia de plantas que tiene numerosos representantes con gran importancia ecosistémica y económica. En Santiago del Estero muchas de sus especies son comunes en el "monte", siendo utilizadas para satisfacer necesidades, cobrando importancia cultural entre las comunidades campesinas. Por ello, se propone describir aspectos de la biología reproductiva, posibles animales polinizadores y la dependencia a los mismos de las leguminosas con mayor versatilidad en las comunidades campesinas de Santiago del Estero. A través de una revisión bibliográfica se registró que: de las 20 especies con las que se trabajó el 70% son hermafroditas y el 45% son autoincompatibles. Los visitantes florales agrupan aves e insectos, siendo los himenópteros los más frecuentes. El 60% de las especies dependen de animales para la polinización. Los resultados concuerdan con muchas generalidades de los aspectos reproductivos descritos para la familia. Se destaca que, a pesar de ser una familia con notoria importancia, ciertos aspectos tratados en la presente contribución se desconocen aún. Se considera relevante encarar trabajos destinados a entender más en profundidad aspectos reproductivos de las plantas y polinización en sistemas campesinos.

ABSTRACT

Fabaceae or Leguminosae is a family of plants that has numerous representatives with great ecosystem and economic importance. Many of its species are common in the "monte" in Santiago del Estero, being used to satisfy numerous needs, gaining cultural importance among peasant communities. For this reason, we set out to describe aspects of reproductive biology, possible pollinating animals, and their dependence on legumes with greater versatility in peasant communities of Santiago del Estero. Through a bibliographic review we recorded that: of the 20 species with which we worked, 70% are hermaphrodites and 45% are self-incompatible. Floral visitors group birds and insects, hymenoptera being the most frequent. 60% of species depend animal for pollination. Our results agree with many generalities of the reproductive aspects described for the family. We emphasize that despite being a family with outstanding importance, certain aspects dealt with in this contribution are still unknown. We consider it relevant to undertake studies aimed at understanding more in depth the reproductive aspects of plants and pollination in peasant systems.

Palabras claves: polinizadores-dependencia-sistemas campesinos-versatilidad

Key words: pollinators-dependency-peasant systems-versatility

INTRODUCCIÓN

Fabaceae incluye un gran número de plantas alrededor del mundo, cuenta con aproximadamente 19400 especies, muchas de las cuales son importantes para los humanos (Ahmad *et al*., 2016). Para Argentina se registran 780 especies (Zuloaga *et al*., 2019) estando muy representadas en la región chaqueña (Cabrera, 1976; Morello *et al*., 2012).

A nivel mundial la familia tiene una gran importancia económica (Rodríguez-Riaño *et al*., 1999), dado que incluye, por ejemplo, a cultivos como soja, porotos, arvejas, maní, entre otros. También son usadas para la producción de madera, combustibles, pesticidas, forraje, industriales, aceites (Polhill *et al*., 1981; Karlin *et al.*, 2010), ornamentales (Cantero *et al*., 2019), como recursos apícolas (Céspedes, 2021; Palacios *et al*., 2017), entre otros. Sumado a ello, cumplen una función importante ecológicamente como la fijación de nitrógeno atmosférico y conservación de suelos (Polhill *et al*., 1981).

Los diferentes representantes de fabáceas presentan frecuentemente flores cíclicas, pentámeras, con cáliz y corola con las piezas libres o soldadas, zigomorfas o actinomorfas y, a menudo, las flores están agrupadas en distintas inflorescencias, como cabezuelas, panículas o racimos (Anton y Zuloaga, 2021). Con respecto a la sexualidad de las flores y el sistema reproductivo de la familia, Ahmad y colaboradores (2016) describen que el mismo está bastante conservado entre sus taxones, siendo las especies usualmente hermafroditas.

Teniendo en cuenta la revisión de Zuloaga y colaboradores (2008) para Santiago del Estero actualmente se registran 80 especies de Fabaceae distribuidas en 39 géneros. Muchas de ellas tienen una gran importancia cultural para las familias campesinas, ya que son utilizadas con diferentes propósitos, como, por ejemplo: alimento, medicina y veterinaria vernácula (Carrizo *et al*., 2005; Riat y Pochetino, 2014; Morend *et al*., 2019), forraje (Schefer, 2019; Grimaldi *et al.,* 2019; Roger, 2020; Moreno, 2021), herramientas, combustible, construcción (Paz, 1941; Togo *et al.*, 1990), apícolas (Cilla *et al*., 2019; Céspedes, 2021), entre otros. Incluso, varias especies presentan simultáneamente más de un uso (Morend *et al*., 2019). Sumado a ello, las plantas tienen asociado, épocas de recolección o cultivo, formas de preparación y manipulación, nombres vernáculos y un cúmulo de conocimiento de diversa índole. Forman parte de la cotidianeidad de las familias campesinas y le brindan identidad.

Varios autores en Argentina postulan que muchas especies de plantas que presentan importancia cultural en una comunidad, también tienen mayor versatilidad (Richeri *et al*., 2013). Este concepto hace referencia a la cantidad de categorías de usos que una planta puede presentar (Hart *et al*., 2017). De esta manera, una especie presentará mayor o menor versatilidad de acuerdo al número de usos que tenga. Es por ello que en una comunidad (como pueden ser los sistemas campesinos de Santiago del Estero), las especies que tienen mayor versatilidad ofrecen más opciones y conllevan a una mayor flexibilidad y eficiencia en el uso de los diferentes componentes d el ambiente (Soares Ferreira *et al*., 2011).

Si bien los ambientes y sus plantas pueden ser fuente de diversos recursos para los humanos, es necesario un proceso ecológico clave para mantener tal aprovechamiento, la polinización. Por un lado, Aizen y Harder (2009) postularon que la polinización biótica mantiene la biodiversidad y estabilidad de los ecosistemas. Por otro lado, Klein y colaboradores (2007), al evaluar la dependencia a la polinización biótica de los cultivos con mayor volumen de producción anual a nivel mundial, encontraron que el 75% dependen en alguna medida de los animales para su producción. Por lo tanto, la polinización animal tiene una gran importancia económica.

Para Argentina, hasta la fecha existen pocos trabajos que sistematizan el conocimiento sobre la biología reproductiva, la ecología de la polinización y la dependencia a la polinización animal, de diferentes grupos vegetales o de especies que son utilizadas en comunidades o regiones de nuestro país. Entre ellos podemos citar a Grimaldi y colaboradores (2021a; 2021b) para Cactaceae y especies subutilizadas de Patagonia y Etcheverry y colaboradores (2007) para leguminosas de Salta. Es por ello que en la presente contribución se pretende sistematizar y sintetizar información sobre la biología reproductiva, la ecología de la polinización y dependencia a la polinización biótica de las fabáceas con mayor versatilidad de la provincia de Santiago del Estero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección de datos

Del listado de especies utilizadas por las comunidades campesinas en Santiago del Estero, resultado de una exhaustiva revisión bibliográfica realizada por Céspedes y colaboradores (2021), en el presente trabajo se seleccionaron las especies de Fabaceae que presentaran mayor cantidad de usos (tres o más), las más versátiles. Como resultado de esa selección se trabajó con 20 especies, de las cuales se utilizan diferentes partes de la planta para alimentación humana y del ganado, medicina y veterinaria vernácula, construcción, entre otros (Tabla 1).

Para todas las especies se realizó una revisión bibliográfica utilizando motores de búsqueda como Google académico y bases de datos nacionales como Flora Argentina (Anton y Zuloaga, 2021) y Flora del Cono Sur (Zuloaga y Belgrano, 2021) e internacionales como Scopus y GBIF (GBIF, 2021). La búsqueda se realizó con las siguientes sentencias: nombre de la especie AND sistema reproductivo OR polinizadores OR polinización OR hermafrodita OR rasgos florales OR ecología de la polinización.

Se tuvieron en cuenta artículos científicos, tesis de grado, posgrado y libros. La búsqueda se realizó en

idioma español e inglés (principalmente). En los casos en los que fue necesario, también se realizó la búsqueda utilizando sinónimos de las especies. El listado de trabajos consultados se encuentra en: https://drive.google.com/drive/folders/1EmsBagGdG6winwcMDsz8fVCflnI8XAqw?usp=sharing.

Tabla 1: Especies de Fabaceae utilizadas en el presente estudio. Se detalla el nombre científico de las especies, la subfamilia a la que pertenecen (antigua según Polhill y Raven, 1981-actual según Azani y colaboradores, 2017) y la cantidad de usos registrados en Santiago del Estero.

Subfamilias (Polhill y Raven, 1981)	Subfamilias (Azani et al., 2017)	Nombre científico	Cantidad de usos
Mimosoidea	Caesalpinioidea	*Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan var. cebil	3
Papilionoidea	Papilionoidea	*Erythrina crista-galli* L.	5
Papilionoidea	Papilionoidea	*Geoffroea decorticans* (Gillies ex Hook. & Arn.) Burkart	8
Caesalpinioidea	Caesalpinioidea	*Libidibia paraguariensis* (D. Parodi) G.P. Lewis	7
Caesalpinioidea	Caesalpinioidea	*Mimozyganthus carinatus* (Griseb.) Burkart	3
Caesalpinioidea	Caesalpinioidea	*Parkinsonia praecox* (Ruiz & Pav. ex Hook.) Hawkins praecox	6
Mimosoidea	Caesalpinioidea	*Prosopis affinis* Spreng.	3
Mimosoidea	Caesalpinioidea	*Prosopis alba* Griseb.	7
Mimosoidea	Caesalpinioidea	*Prosopis elata* (Burkart) Burkart	4
Mimosoidea	Caesalpinioidea	*Prosopis kuntzei* Harms	6
Mimosoidea	Caesalpinioidea	*Prosopis nigra* (Griseb.) Hieron.	8
Mimosoidea	Caesalpinioidea	*Prosopis ruscifolia* Griseb.	7
Mimosoidea	Caesalpinioidea	*Prosopis sericantha* Gillies ex Hook. & Arn.	4
Mimosoidea	Caesalpinioidea	*Prosopis torquata* (Cav. ex Lag.) DC.	7
Mimosoidea	Caesalpinioidea	*Senegalia gilliesii* (Steud.) Seigler & Ebinger	5
Mimosoidea	Caesalpinioidea	*Senegalia praecox* (Griseb.) Seigler & Ebinger	7
Caesalpinioidea	Caesalpinioidea	*Senna aphylla* (Cav.) H.S. Irwin & Barneby var. aphylla	3
Caesalpinioidea	Caesalpinioidea	*Senna occidentalis* (L.) Link	3
Mimosoidea	Caesalpinioidea	*Vachellia aroma* (Gillies ex Hook. & Arn.) Seigler & Ebinger	7
Mimosoidea	Caesalpinioidea	*Vachellia caven* (Molina) Seigler & Ebinger	6

Las variables a determinar durante la recopilación bibliográfica fueron:

1. Nombre Científico. Según la filiación botánica brindada por Flora Argentina (Anton y Zuloaga, 2021).
2. Estatus biogeográfico. Se clasificó las especies en nativas, endémicas, introducidas y adventicias, según la base de datos de Flora Argentina (Anton y Zuloaga, 2021).
3. Hábito. Se clasificó las especies en árboles, arbusto, subarbusto, enredadera, herbáceas y lianas, teniendo en cuenta la base de datos de Flora Argentina (Anton y Zuloaga, 2021)
4. Sistema reproductivo. Se utilizó la sexualidad de las plantas para su clasificación.
5. Compatibilidad. Se clasificaron en autocompatibles (es posible la autofecundación) o autoincompatibles (necesitan de fecundación cruzada).
6. Visitantes Florales. Grupos de animales indicados como visitantes de las flores.
7. Dependencia. Para esta variable se tuvo en cuenta el trabajo de Klein y colaboradores (2007), definiendo el Nivel de Dependencia como el porcentaje en que la polinización animal aporta a la producción de semillas y frutos. Las categorías que se desprenden son las siguientes; esencial, la polinización es esencial para la producción (se reduce un 90% o más sin animales polinizadores); alta, los polinizadores son muy necesarios (la producción disminuye entre 40 y 90%); media, los animales polinizadores claramente favorecen la producción (reducción de la producción entre 10 y 40%); baja, algunas evidencias sugieren que la polinización es beneficiosa para la producción (reducción entre 0 y 10%); nula: no se incrementa la producción con la intervención de animales polinizadores; desconocida: no se tienen estudios empíricos que hayan abordado el tema.

Análisis de datos

Las especies y datos recopilados se volcaron a una base de datos. El análisis se realizó empleando estadística descriptiva para determinar los sistemas reproductivos más comunes, la compatibilidad, los grupos de animales más frecuentemente citados como visitantes florales y el nivel de dependencia que presentan las especies estudiadas.
Para inferir posibles asociaciones con respecto a la dependencia a la polinización de las distintas variables estudiadas, se realizaron análisis no paramétricos. Se utilizó el software RStudio (R Core Team, 2021).

RESULTADOS

Se revisaron 44 documentos de índole botánica, genética y ecológica de los cuales se utilizaron 29, por presentar uno o más datos relevantes. Todas las especies consideradas en el presente estudio fueron nativas, agrupadas en árboles (70%), arbustos (25%) y herbáceas (5%).
En la Fig. 1a se puede observar que el 70% de las fabáceas son hermafroditas, 20% andromonoicas y para el 10% restante, no se registraron trabajos que evaluaran el sistema reproductivo. De acuerdo a la Fig 1b, el 45% de las especies estudiadas son autoincompatibles, el 30% autocompatibles y un 25% no se conoce sobre su sistema de compatibilidad. Los principales visitantes florales registrados fueron himenópteros (60%), siendo los más frecuentes *Apis mellifera* L. y especies de meliponas del género *Tetragonisca* Moure y *Scaptotrigona* Moure (Fig.1c). Todas las especies evaluadas dependen en grado variable de la polinización por animales (esencial, alta y media). Sin embargo, no se registraron trabajos que evalúen el nivel de dependencia para el 40% de ellas (Fig. 1d).
En diferentes especies de fabáceas se registraron diversos mecanismos que favorecen la polinización cruzada en las especies hermafroditas y autocompatibles. *Geoffroea decorticans* (Gillies ex Hook. & Arn.) Burkart, *Prosopis alba* Griseb., *Prosopis ruscifolia* Griseb. y *Senna aphylla* (Cav.) H.S. Irwin & Barneby presentan protoginia, es decir, madura primero el gineceo y luego el androceo (Fig. 2). En *Prosopis torquata* (Cav. ex Lag.) DC. se describe heterostilia, específicamente "tristilia". En este polimorfismo floral los estilos de diferentes flores (en el caso de *P. torquata* dentro de una misma inflorescencia) presentan longitudes diferentes, presentándose flores con estilos cortos, medios y largos.
De acuerdo al análisis estadístico realizado, la polinización biótica que presentan las fabáceas estudiadas es independiente del sistema reproductivo (X^2=1.31, p=0.77) y de los visitantes que presenten dichas especies (X^2=8.63, p=0.37). Sin embargo, está fuertemente asociada a la compatibilidad (X^2=23.47, p=4.9e-3, Cramer's V=0.77).

Figura 1: Gráficos descriptivos de las variables analizadas. a) Sistema reproductivo; b) Compatibilidad; c) Visitantes florales; d) Nivel de dependencia a la polinización biótica.

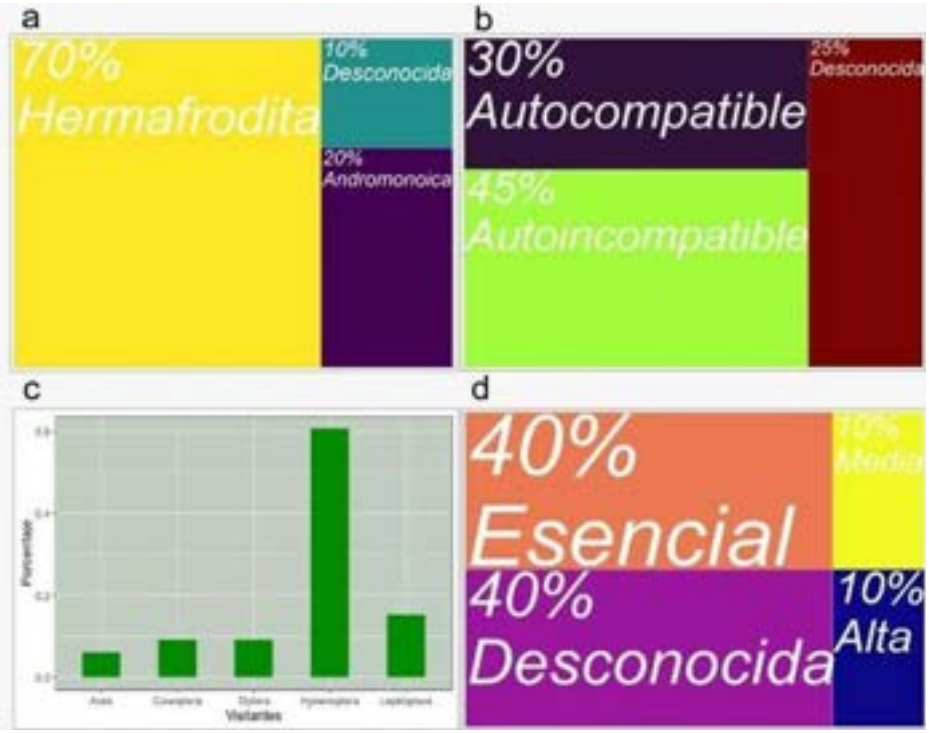


Figura 2: Especies que muestran protoginia como mecanismos que aseguran la fecundación cruzada. a) *Prosopis ruscifolia*; b) *P. alba*; c) *Geoffroea decorticans;* d) *Senna aphylla.*



DISCUSIÓN

En este trabajo se realizó una primera aproximación a la biología reproductiva y ecología de la polinización de 20 especies pertenecientes a la familia Fabaceae, de importancia cultural para comunidades campesinas de Santiago del Estero. Se analizaron los sistemas reproductivos, la compatibilidad, los posibles animales polinizadores y la dependencia a los mismos de las fabáceas con mayor versatilidad. Además de la importancia cultural, es una familia importante para los ecosistemas y la economía (Lewis y Forest, 2005; Yahara *et al*., 2013).

Los resultados obtenidos sobre la independencia de la polinización biótica con respecto al sistema reproductivo y los visitantes florales, concuerdan con lo registrado para la familia Fabaceae, donde la mayoría de las especies son hermafroditas y las flores muestran un rango de características adaptadas a la polinización por insectos, aves o murciélagos (Azani *et al*., 2017). Al considerar los insectos, es importante recalcar la predominancia de himenópteros, lo cual podría estar relacionado a las especies con que se trabajó en el presente estudio, *Prosopis alba*, *Prosopis nigra* (Griseb.) Hieron., *Prosopis kuntzei* Harms, *Senegalia gilliesii* (Steud.) Seigler & Ebinger, *S. praecox* (Griseb.) Seigler & Ebinger, *Vachelia caven* (Molina) Seigler & Ebinger y *V. aroma* (Gillies ex Hook. & Arn.) Seigler & Ebinger, señaladas como especies de gran importancia apícola en Santiago del Estero por Céspedes (2021).

Según los resultados obtenidos el 45% de las especies autoincompatibles, pertenecen en su mayoría a la subfamilia Mimosoideae; mientras que las dos especies pertenecientes a Papilioideae son autocompatibles. Estos resultados concuerdan de manera general con lo descripto para la familia por Arroyo y colaboradores (1981). Los autores postulan que la incompatibilidad en leguminosas varía siendo alta en los representantes de las antiguas subfamilias Caesalpinioideae y Mimosoideae (62,3% y 66,7% respectivamente), pero bajos en Papilionoideae (22,1%).

Con respecto a la compatibilidad, se observó que cuatro especies tienen características que ayudan a la fecundación cruzada de sus flores, como lo son la protoginia y la heterostilia, características que se repiten en las diferentes especies en la familia Fabaceae (Arroyo, 1981; Galloni *et al*., 2007).

Teniendo en cuenta la variable nivel de dependencia a la polinización biótica, hay que resaltar dos aspectos. El primero, son escasos los trabajos que sistematizan o registran resultados concernientes a la dependencia en plantas que están vinculadas a sistemas tradicionales o campesinos. Y segundo, existe para las especies trabajadas, un gran bache de información al respecto. A pesar de ello, se obtuvo un nivel de dependencia a la polinización biótica menor que en otros estudios realizados (Grimaldi *et al*., 2021b; Chaudhary y Chand, 2017; Klein *et al*., 2007). Esto podría ser explicado por el recorte de especies con las cuales se trabajó.

CONCLUSIÓN

Esta aproximación resulta novedosa para Santiago del Estero, siendo la primera donde se evalúa, entre otros aspectos, la dependencia a la polinización biótica de un grupo tan importante culturalmente para los sistemas campesinos en Santiago del Estero, como lo son las Fabaceae. Sería valioso desarrollar líneas de investigación para profundizar en la biología reproductiva y la ecología de la polinización en la Provincia, para estas y otras especies de interés.

La presente contribución sistematiza la información relevante de aspectos reproductivos y ecológicos de especies con reconocida importancia cultural, ecosistémica y económica. Es relevante para comprender de manera más acabada los sistemas campesinos y los variados componentes que se relacionan entre sí para, entender la importancia de los polinizadores y el proceso de polinización, y generar conocimientos que puedan utilizarse a la hora de realizar trabajos de conservación y gestión de los componentes de la naturaleza.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Facultad de Agronomía y Agroindustrias (UNSE) por brindar oportunidades para el desarrollo de actividades de investigación a docentes y estudiantes. A la vez deseamos agradecer al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (UNSE) por su apoyo y a los revisores por sus sugerencias.

REFERENCIAS

Ahmad, F., Anwar, F. & Hira, S. Review on medicinal importance of Fabaceae family. *Pharmacology online*,

3(1), 151-157. 2016.

Aizen, M. A. & Harder, L. D. The global stock of domesticated honey bees is growing slower than agricultural demand for pollination. *Current biology*, *19*(11), 915-918, 2009.

Anton, A. M. & F. O. Zuloaga (dirs.). Flora Argentina. Disponible en http://buscador.floraargentina.edu.ar/. 2021

Arroyo, M. T. K. Breeding systems and pollination biology inLeguminosae. In Polhill, R. M. & Raven, P. H., (Eds). *Advances in legume systematics* 2. Richmond, Royal Botanic Gardens, Kew, pp. 723–769, 1981.

Azani, N., Babineau, M., Bailey, C. D., Banks, H., Barbosa, A. R., Pinto, R. B., ... & Zimmerman, E. A new subfamily classification of the Leguminosae based on a taxonomically comprehensive phylogeny: The Legume Phylogeny Working Group (LPWG). *Taxon*, *66*(1), 44-77, 2017.

Cabrera, A. L. Regiones fitogeográficas argentinas. *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería* (2da. Ed.). Tomo II, Fase 1 ACME, Buenos Aires. 85 pp. 1976.

Cantero, J. J., Núñez, C. O., Bernardello, G., Amuchastegui, A., Mulko, J., Brandolin, P., Palchetti, M. V., Iparraguirre, J., Virginil, N. & Ariza Espinar, L. *Las plantas de importancia económica en Argentina*. 1° Ed. UniRío Editora. Río Cuarto. 937 pp. 2019.

Carrizo, E. del. V., Palacio, M. O. & Roic, L. D. Uso medicinal de algunas especies nativas en Santiago del Estero (República Argentina). *Dominguezia*, 21(1): 25-32. 2005.

Céspedes, F. N. En conocimiento melífero local: beneficios de los recursos florísticos en la economía familiar de apicultores del departamento Silípica, Santiago del Estero, Argentina. Tesis de maestría. Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Santiago del Estero, 278 pp. 2021.

Céspedes, F. N., Grimaldi, P. A. y Cilla, G. Dimensión lingüística asociada a la diversidad vegetal en Santiago del Estero. *Revista del Museo de La Plata, Suplemento de Resúmenes de las III Jornadas Argentinas de Etnobiología y Sociedad*, 2021.

Chaudhary, O. P. & Chand, R. Economic benefits of animal pollination to Indian agriculture. Indian Journal of Agricultural Sciences, 87(9), 1117-1138, 2017.

Cilla, G., Guzmán, A., Marozzi, P., Gallardo, J., Morend, S. & Grimaldi, P. A. Abordaje participativo para el estudio de la flora apícola: importancia de la vegetación herbácea como base forrajera para las colonias de *Apis mellifera* L. En: Cañadas, M. A. *Libro de resúmenes Cuarto congreso del Foro de Universidades Nacionales para la Agricultura Familiar*. Ediciones INTA. 2019.

Etcheverry, A. V., Alemán, M. M., Gómez, C. & Figueroa, T. Polinización de Leguminosas de utilidad potencial en el Valle de Lerma, Salta. En Libro de trabajos de la *III Jornadas de la Asociación Argentino-Uruguaya de Economía Ecológica*. ISBN 978-97822038-1-8, 2007.

Galloni, M., Podda, L., Vivarelli, D. & Cristofolini, G. Pollen presentation, pollen-ovule ratios, and other reproductive traits in Mediterranean Legumes (Fam. Fabaceae-Subfam. Faboideae). *Plant Systematics and Evolution*, *266*(3), 147-164, 2007.

GBIF.org (2021). Disponible en: https://www.gbif.org.

Grimaldi, P. A., Céspedes, F. N., Las Peñas, M. L. & Cilla, G. ¿Qué conocemos hasta hoy de los sistemas de producción, compatibilidad y polinizadores de las Cactáceas de Santiago del Estero? En *XXXVIIII Jornadas Argentinas de Botánica*. 2021ª.

Grimaldi, P. A., Cilla, G. & Morend, S. El camino de las cabras Conocimiento tradicional, valoración y manejo de plantas forrajeras caprinas en Santiago del Estero. *Revista de Agroecología Leisa*, 35(4): 33-35. 2019.

Grimaldi, P. A., Cilla, G., Morend, S., Marozzi, P. & Gallardo, J. Uso y valoración de las plantas del monte por "pequeños productores" de la provincia de Santiago del Estero. En: Cañadas, M. A. *Libro de resúmenes Cuarto congreso del Foro de Universidades Nacionales para la Agricultura Familiar*. Ediciones INTA. 2019.

Grimaldi, P. A., Ladio, A. H., Morales, C. & Céspedes, F. N. Polinización: proceso biocultural asociado a la agricultura familiar de Patagonia. En III *Jornadas Argentinas de Etnobiología y Sociedad*. 2021b.

Hart, G., Gaoue, O. G., de la Torre, L., Navarrete, H., Muriel, P., Macía, M. J., ... & Duffy, D. C. Availability, diversification and versatility explain human selection of introduced plants in Ecuadorian traditional medicine. *PloS one*, *12*(9), 2017.

Karlín, O., Goirán, S. & Karlín, M. Los usos de las plantas principales de las Salinas Grandes. URL: https://www.academia.edu/30461734/Los_usos_de_las_plantas_principales_de_las_Salinas_Grandes. 15/06/2021, 2010.

Klein, A. M., Vaissiere, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C. & Tscharntke, T. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the royal society B: biological sciences*, *274*(1608), 303-313, 2007.

Lewis, G. P. & Forest, F. Cercideae. Pp. 57–67 in: Lewis, G., Schrire, B., Mackinder, B. y Lock, M. (Eds.), Legumes of the World. Richmond, U.K.: Royal Botanic Gardens, Kew. 2005.

Morello, J., Matteucci, S. D., Rodriguez, A. F. & Silva, M.E. Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos. 1 ed. Orientación gráfica editorial. 752 pp. Buenos Aires. 2012.

Morend, S., Grimaldi, P. A., Guzmán, A., Marozzi, P. & Cilla. G. Valor de uso cultural de especies y familias botánicas, en 4 sistemas de producción familiar de la provincia de Santiago del Estero. En: Cañadas, M. A. *Libro de resúmenes Cuarto congreso del Foro de Universidades Nacionales para la Agricultura Familiar*. Ediciones INTA. 2019.

Moreno, F. N. Plantas tóxicas y de uso veterinario: el conocimiento botánico tradicional en productores

campesinos del departamento Silípica, Santiago del Estero. Tesina de grado. Facultad de Agronomía y Agroindustrias-Universidad Nacional de Santiago del Estero. Santiago del Estero, Argentina. 63 pp. 2021

Palacio, M. O., Carrizo E. del V., Roger. E., Coria, O. & Epstein Vittar, M. F. Flora leñosa de interés en bosques serranos de Choya y Guasayán, Santiago del Estero. Ed. Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Tomo II. 15-24 pp. Santiago del Estero. 2017.

Paz, V. Flora santiagueña (2° ed.). Talleres El Liberal. Santiago del Estero. 1941.

Polhill, R. M., Raven, P. H. & Stirton, C. H. Evolution and systematics of the Leguminosae. In: Polhill, R. M. & Raven, P.H. (eds). Advances in legume systematics. Kew: *Royal Botanical Garden*, 1: 1–26. 1981.

Polhill, R. M. & Raven, P. H. (eds.). *Advances in Legume Systematics 1*. Royal Botanic Gardens. Kew, UK. 1981.

Riat, P. & Pochettino M. L. ¿Para usar o para eliminar? El uso local del Monte Santiagueño (Argentina) y el avance de la agricultura industrial. *Zonas Áridas*, 15(1): 68-91. 2014.

Richeri, M., Cardoso, M. B. & Ladio, A. H. Soluciones locales y flexibilidad en el conocimiento ecológico tradicional frente a procesos de cambio ambiental: estudios de caso en Patagonia. *Ecología Austral* 23,184-193, 2013.

Rodriguez-Riano, T., Ortega-Olivencia, A. & Devesa, J. A. Types of androecium in the Fabaceae of SW Europe. *Annals of Botany*, 83(2): 109-116. 1999.

Roger, E. Conocimiento ecológico Asociado a Las prácticas Silvopastoriles en la Región Chaqueña Semiárida (Santiago Del Estero, Argentina). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 55(4):61-79. 2020.

RStudio Team. RStudio: Integrated Development Environment for R. RStudio, PBC, Boston, MA. 2021. URL http://www.rstudio.com/.

Schefer, E. S. Saberes etnobotánicos sobre especies forrajeras por productores campesinos del departamento Silípica, Santiago del Estero. Tesina de grado. Facultad de Agronomía y Agroindustrias-Universidad Nacional de Santiago del Estero, Santiago del Estero, Argentina. 53 pp. 2019.

Soares Ferreira, J. R. W., Ladio, A. H. & Albuquerque, U. P. Resilience and adaptation in the use of medicinal plants with suspected anti-inflammatory activity in the Brazilian Northeast. *J. Ethnopharm*., 138:238-252, 2011.

Togo, J., Basualdo, M. A., y Urtubey, N. Aprovechamiento socioeconómico de la flora autóctona de Santiago del Estero (listado de especies y uso popular más frecuente). *Indoamericana*, 3(3): 1-161. 1990.

Yahara, T., Javadi, F., Onoda, Y., Queiroz, L. P. de, Faith, D., Prado, D.E., Akasaka, M. … & Nkonki, T. Global legume diversity assessment: Concepts, key indicators, and strategies. *Taxon* 62(1): 249–266. 2013.

Zuloaga, F. O., Morrone, O. & Belgrano, M. J (eds.). Catálogo de las plantas vasculares del Cono Sur (Argentina, sur de Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay). *Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden,* 107, 1-3348. 2008.

Zuloaga, F. O., Belgrano, M. J. & Zanotti, C. A. An update of the catalogue of the vascular plants of the southern cone. Darwiniana, nueva serie, 7(2), 208-278. 2019.

Zuloaga, F. O. & M. J. Belgrano (eds.) Catálogo de las Plantas Vasculares del Cono Sur (Argentina, Sur de Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay) [Online]. Disponible en http://www.darwin.edu.ar/Proyectos/FloraArgentina/fa.htm. 2021.

La ciudad sostenible: mitigación de GEI mediante sumideros de CO2 y eficiencia energética en iluminación en espacios verdes.

Rigali, Silvina[1]; Castro Saavedra, Maria I.[1]; Corbalán, Ruben.[1]; Fernández, Franco[1], Onofre Bertani, German[2]

(1) Docentes-investigadores, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, UNSE silvinarigali@yahoo.com.ar; maricastro_7@hotmail.com; rocorbalan@yahoo.com.ar francofer81@hotmail.com;

(2) Estudiante – Becario de investigación FCEyT – UNSE german-a-009@hotmail.com

RESUMEN

La Municipalidad de Santiago del Estero, asumió con convicción el desafío de transformarse en ciudad sostenible y resiliente, propuesta N° 11 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU, para asegurar la calidad de vida de las personas, aún en escenarios futuros donde el calentamiento global, y los efectos extremos del Cambio Climático modifiquen las condiciones actuales. Para ello las acciones de mitigación y adaptación deben comenzar sin dilaciones en esta década.

En el presente trabajo vamos a estimar la mitigación por eficiencia energética en iluminación de espacios verdes, aplicando la metodología recomendada por la secretaria de energía de la nación, y por sumidero de carbono, para el año 2030.

La sustitución de luminarias de descarga: sodio o fluorescentes compactas por LEDs en las plazas y parques, se materializa diseñando espacios nocturnos mediante una iluminación calmada, inteligente, saludable, sostenible, y confortable, en dónde la noche recupera protagonismo (Slowligh), porque no se trata de sustituir una tecnología por otra, es un nuevo concepto de iluminación.

El cálculo de contribución por sumidero de los 200.000 árboles plantados estos últimos 4 años se realiza a modo ilustrativo, haciendo ciertas hipótesis, a los efectos sólo de señalar la importancia cualitativa de esta medida.

ABSTRACT

The Santiago del Estero City Council, assumed with conviction the challenge of becoming a sustainable and resilient city, proposal No. 11 of the UN Sustainable Development Goals, to ensure the quality of life of people, even in future scenarios where the global warming, and the extreme effects of Climate Change modify current conditions. For this, mitigation and adaptation actions must begin without delay in this decade.

In this work, we are going to estimate the mitigation for energy efficiency in green space lighting, applying the methodology recommended by the nation's energy secretary, and for carbon sink, for the year 2030.

The replacement of discharge luminaires: sodium or compact fluorescent by LEDs in squares and park, is materialized by designing night spaces through calm, intelligent, healthy, sustainable, and comfortable lighting, where the night regains prominence (Slow light), why not it is about substituting one technology for another, it is a new lighting concept.

The calculation of the contribution per sinkhole of the 200,000 trees planted in the last 4 years is carried out for illustrative purposes, making certain hypotheses, for the purposes only of pointing out the qualitative importance of this measure.

Palabras claves: (Sostenible - eficiencia - sumidero de carbono)

Keywords: (sustainable - efficiency - carbon sink)

1. INTRODUCCIÓN

Para alcanzar las metas de neutralidad del carbono en 2050, además de la electrificación de la matriz energética (transporte, industrias y otros sectores) transformando la matriz de generación actual a un 80% de sistemas tecnológicos basados en energías renovables, habrá que modificar pautas de comportamiento, reducir, reusar y reciclar, planificar ciudades compactas (de 15 minutos) de modo que el desplazamiento de las personas no sea otra componente de deterioro de la vida en el planeta. Esto requiere transformar las políticas de planeamiento urbano y lograr compromisos de los distintos niveles de gobierno. Pensar en ciudades sostenibles será un desafío, pero los compromisos nacionales revitalizados a partir del Acuerdo de Paris, y de la participación Argentina en cada Conferencia de la ONU sobre el Cambio Climático (COPs) realizadas, y habiendo presentado los inventarios sectoriales de GEI por provincia (2019), y estando en preparación los planes locales (ciudades) de mitigación y adaptación, se presenta un escenario que otorga una enorme motivación para asumir la acción en esta década decisiva, porque se está frente a un punto de no retorno si se continua acelerando la temperatura de la superficie de la tierra, y de los océanos, y es necesario detener esto según lo demuestra el último informe de los científicos del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC).

Hay iniciativas en marcha como la Red Argentina de Municipios frente al Cambio Climático RAMCC, que suma 230 municipios de 18 provincias, abocada a construir consensos en torno a las bases para un desarrollo local responsable, con equidad y mejora de la calidad de vida de su población. Además de contar con un fideicomiso creado con la contribución de cada uno de los miembros mediante el cual se financia proyectos.

La eficiencia energética se enmarca en el Capítulo V, art. 23, ítem c, "implementar medidas para fomentar la eficiencia y la autosuficiencia de energía eléctrica" en la Ley de presupuestos mínimos de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático Global N° 27.520/19 en línea con el Acuerdo de Paris (2016), demás tratados internacionales, la Ley general del Ambiente N° 25.675/02, y la Constitución Nacional en sus artículos 41 y 124 (1994).

El cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) no será posible si no se controla la expansión urbana. En particular, el Objetivo 11, "Ciudades y Comunidades Sostenibles", que plantea "lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles", requiere implementar una estrategia nacional que aborde el problema desde una mirada integral.

Aquí se analiza una política de expansión de los metros cuadrados de espacios verdes por habitante, acompañada por el mejoramiento de la eficiencia de la iluminación de todas las plazas, plazoletas y espacios verdes reconvirtiéndolos a la tecnología LED. Calcular como estos se traduce en toneladas de CO_2, evitadas/remitidas, y como nos acerca a la urgente meta de no superar los 2°C (y en los posible 1,5°C) de incremento de temperatura.

2. DESARROLLO: SANTIAGO DEL ESTERO FRENTE AL CAMBIO CLIMATICO

2.1 *Plan Urbano Ambiental: los árboles como protagonistas*

Como otras ciudades del NOA, la estación estival está caracterizada por altas temperaturas, a esto se suma el efecto isla de calor, en días extremos se ha registrado térmicas muy altas que hacen difícil la vida sin climatización en los hogares. Asimismo el desplazamiento como peatón o ciclista entre las 10 y las 18,30hs es agobiante, debido a que existen pocas calles arboladas que moderen el clima.

Según el 6° informe del Panel intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), las previsiones de aumento de la temperatura superarán 1,5°C en la década comprendida entre 2030 y 2040, esto como se sabe genera además efectos extremos como las olas de calor, sequías, lluvias intensas, ciclones, huracanes, aumento del nivel de los océanos, deshielos. Según Doblas-Reyes (2021) "Todavía estamos a tiempo, pero tenemos que empezar ya". Igual que ha quedado muy claro que esta crisis es culpa de la actividad humana, también sabemos que la acción humana es lo único que podrá mitigar su impacto, Los expertos llaman a "aplicar medidas inmediatas, contundentes y a gran escala para reducir la emisión de gases de efecto invernadero".

Incluso si hoy mismo se implementan medidas drásticas para frenar las emisiones, el planeta tardaría entre 20 y 30 años en retomar el pulso.

Para prepararse ante este escenario las autoridades municipales asumieron entre otras medidas, una política pública de plantación de miles de árboles en toda la ciudad, ejemplares de 25 especies diferentes, entre ellas, Jacarandás, Bahuinias, Paraísos, Moras, Lapachos, Ligustros, Naranjos Agrios, Fresnos, Palo Jabón, Algarrobos, Tevetías, Aguaribay, Tipas y Cassias. Que además de contribuir a morigerar la temperatura media, trabajarán como sumideros de carbono, es decir esta medida tiene un doble beneficio: la adaptación a las consecuencias del CC, y de mitigación de GEI.

Los sumideros de carbono representan una ayuda importante para frenar el cambio climático, el océano y los bosques constituyen los sumideros naturales. Por ello es tan importante la incorporación de estas 200.000 especies arbóreas (meta cumplida), y su significancia a partir del año 2030, cuando se hayan transformado en árboles adultos. Esto se enmarca en un trabajo constante de divulgación acerca de la importancia y la responsabilidad de todos los vecinos en el seguimiento y cuidado de la evolución de estas especies, y promoviendo nuevas plantaciones. Una directiva técnica del municipio dicta que en todas las plazas nuevas y /o remodeladas se dispondrá césped, arbustos y árboles en un 75% de la superficie de las mismas, e instalaciones de riego que aseguren su crecimiento. La supremacía del cemento en plazas llego a su fin.

Una de las especies nativas plantadas y demandadas por los vecinos, ya que el vivero municipal distribuye especies a quienes se comprometan a cuidarlas, es el Lapacho Rosado que florece en primavera y se encuentra en muchas de las calles, plazas y espacios verdes, se muestra una

imagen de ello en la Fig. 1.
Otro objetivo es mejorar los espacios públicos en el interior de la ciudad (y en los barrios más vulnerables) no sólo en las zonas céntricas o el parque central, porque hay convicción que esto puede ser una estrategia válida para poner en valor determinadas zonas que, a su vez, pueden generar efectos positivos en su entorno, mejorando la calidad de algunos barrios de la ciudad, y favoreciendo el contacto con la naturaleza de todos aquellos que residen en complejos de viviendas horizontales construidas por el IPVU (instituto provincial de vivienda) y viviendas oficiales con muy poco espacio para construir sus propios jardines.
Esta medida en SDE ha logrado que cientos y miles de personas se vuelquen los últimos 5 años, a las plazas y los espacios verdes, para compartir momentos con familiares y amigos, utilizar los circuitos de salud (equipados) y practicar deportes varios (caminata, running, ciclismo, yoga). Estas inversiones son probablemente las que más pueden redituar políticamente a un gobierno, porque benefician a un número importante de ciudadanos, mejorando su calidad de vida, y además contribuyen a combatir el cambio climático global.



Figura 1: Lapachos Rosados en Av. Belgrano, fuente: página oficial de la municipalidad.

En la figura 2 se muestra en plano el ejido municipal y la distribución de los espacios verdes y plazas, con su parque principal (Aguirre) recostado sobre el Río Dulce, esta imagen se ha tomado del sitio oficial de la municipalidad SDE.



Figura 2: Distribución de espacios verdes SDE. Créditos: sistema geográfico municipal http://www.santiagociudad.gov.ar/

2.2 *Eficiencia Energética en Iluminación*

La transformación de la Ciudad que antes lucia de noche, color sepia comenzó en 2015, con la instalación de luminarias LED en la principal avenida, su columna vertebral. El impacto sobre esta vía al triplicar el nivel de iluminancia, mejorar el índice de respuesta del color, y la temperatura de color de la fuente, generó grandes expectativas en la ciudadanía, y a partir de ello, todos los vecinos iban a pedir (al municipio) ese tipo de luz para sus calles y plazas. La ciudad es extendida, y satisfacer esta demanda implica una gran inversión, de modo que se establecieron metas viables, aún en progreso. Cada mes "la mancha" de LEDs crece un poco más, y con ello la perspectiva de mayor eficiencia, y posibilidades de tener un control inteligente de las redes.
La tecnología de las lámparas de sodio de alta presión (SAP), asociada con el equipo auxiliar de calidad, y en un artefacto de alto rendimiento y adecuada distribución fotométrica de la luz, fue una solución útil para el alumbrado público durante muchos años, teniendo en cuenta costo-beneficio.
La superioridad de la tecnología LED es relevante a la hora de analizar como percibimos el espacio, los contrastes del entorno si bien en la visión mesópica (niveles intermedios de iluminancia) los colores difieren de la visión fotópica (diurna), la sensación de entorno monocromático (que dan las fuentes SAP), provoca desagrado, está asociada emocionalmente a ambientes deprimidos.
Además la otra gran ventaja desde el punto de vista de la eficiencia y la sostenibilidad, está vinculada a la vida útil de cada una de estas tecnologías. Una luminaria SAP instalada en plazas o espacios públicos, posee un régimen de encendido de aproximadamente 10 horas diarias, esto representa una vida útil de 3,2 años, y por otra parte, funcionando en las mismas condiciones una luminaria LED brindaría una prestación durante 13 años son una depreciación del flujo de 10%. En la Tabla 1, se aprecian las diferencias entre dos farolas de las instaladas en espacios verdes con diferentes tecnologías. Una comparación más amplia podría haber incluido lámparas de Descarga de Mercurio Alta Presión, y Fluorescente Compactas, que también eran instaladas en plazas, y espacios verdes, si bien en ambos casos la temperatura de color es más adecuada al compararla con la SAP, la eficiencia es menor, y también la vida útil, sus IRC son mayores al SAP pero menores al LED.
Hay que tener en cuenta que lo que se busca además de eficiencia es calidad de iluminación. El mal uso de la tecnología, trae consecuencias que luego se pagan durante años. Ejemplo de ello es las instalaciones sobredimensionadas, que además de tirar por la borda el objetivo de eficiencia, provocan deslumbramiento por la altura a la que están ubicados los artefactos, y en otros casos la acera luce efecto cebrado por la mala distribución de las luminarias escogida o adaptada a la antigua topología de la instalación.

Tabla 1: Comparación entre tecnologías. Créditos: Catalógo de Ignis Lighting

Parámetros	Luminaria LED	Luminaria SAP -T
Imagen		
Potencias [W]	100	100 (115)
Flujo luminoso [lm]	14.000	9.000
Eficacia [lm/W]	130	75
IRC	70 - 80	25
Vida útil [horas/años]	50.000 4.000	12.000 2.000
Costos aprox. USD	13,6 320	3,2 150

En la actualidad hay disponibles software libres para el cálculo (Relux, Dialux Evo), que pueden evitar estos errores, y es inadmisible que los gobiernos realicen tamaña inversión, que además se espera funcione durante más de una década con escaso mantenimiento, y luego lamentarlo al ver y registrar/medir que los resultados no alcanzan lo esperado desde el punto de vista del confort visual, y tampoco los requisitos especificados por las Normas de Alumbrado Público IRAM-AADL. Lo que generalmente no alcanzan es el requisito de uniformidad, porque en Iluminancia media están excedidos.

Cuando se trata de iluminación de plazas y espacios verdes, los objetivos perseguidos difieren a los planteados en alumbrado vial. Aquí las recomendaciones de la CIE (Comisión internacional de alumbrado público) nos indican que se debe facilitar el desplazamiento de las personas por los senderos demarcados, permitir las actividades nocturnas en el parque (juegos infantiles, circuitos de salud), destacar los elementos de interés (fuentes, pérgolas, esculturas, monumentos, lagos, muros, etc.,) y plantas, arbustos, f1orales, arbolado, áreas despejadas, conjugándolos con su entorno. Finalmente es necesario interrelacionar los componentes dentro de un conjunto lineal armónico.

En la Figura 3 puede apreciarse la imagen de una plaza iluminada con las pautas antes descriptas. Los senderos de acceso se delimitan con una luminaria tipo bolardo, de 15W, en el entorno general se distribuyen farolas a 4 m de altura con luminarias de 60W, y solo la zona de juegos posee iluminación en columnas con proyectores de 100W, los árboles están realzados con proyectores de 30W, en algunos casos se utilizan RGB.

Figura 3: Plaza Gorostiaga, SDE ciudad, créditos: https://www.skyscrapercity.com/threads/santiago-del-estero-remodelaci%C3%B3n-de-plaza-gorostiaga.1981929/



En el diseño de iluminación de plazas y espacios verdes, los criterios referidos a donde y que tipo de luminarias instalar, deben estar basados según Ballester-Olmos (2006) hacia los objetivos de utilidad y de seguridad, pero sin descuidar el hecho que un exceso de luz puede ocasionar efectos contrarios a los deseados, pues se pueden crear sombras duras, deslumbramientos sicológicos y fisiológicos, y alterar el aspecto de los arbustos y árboles, perdiéndose también la riqueza visual que ofrecen las matizaciones de claro-oscuro.

Las condiciones humanas de visión imponen la exigencia de un mínimo contraste entre las luminosidades de los objetos si se quieren apreciar como diferenciados. La relación de 10 a 1 significa un contraste mínimo, una visión homogénea de luminosidad, mientras que diferencias de 100 a 1 dan una visión extremada que nos obliga a fijar la mirada en las partes más luminosas. Algunos autores establecen 5-10 lux como intensidad mínima a lograr en paseos peatonales, senderos, etc., pero en general se considera que 20 lux es el valor mínimo aconsejable para todas las zonas por donde circulan personas, incluyendo caminos, escaleras y cambios de nivel, debiéndose aumentar a unos 100 lux en los puntos importantes de confluencia de la red viaria del parque. Los fondos decorativos y puntos compositivamente interesantes del jardín, constituidos por árboles, arbustos, macizos florales, cerramientos, setos, etc., requieren 20 a 100 lux para crear unas zonas 6visuales generales, siendo suficientes 30 lux en la mayoría de los casos, al tiempo que su iluminación debe ser diez veces más intensa que la del fondo.

3. METODOLOGÍA

Este trabajo se elaboró gracias a la información pública compartida por la municipalidad de SDE, mediante su sitio oficial y su sistema geográfico, y realizando entrevistas personales a los técnicos responsables de diseñar los proyectos de plazas y espacios verdes. Asimismo, se estudiaron los ejes del Plan Urbano Ambiental presentado en el año 2018, y ratificado en la apertura de las sesiones legislativas del HCD en el presente período.

Partiendo de los datos numéricos y gráficos, se procedió a calcular las toneladas de CO2 por sumidero que se remitirían en el año 2030, cuando los 200.000 árboles tengan un promedio de 11 años, y con ello una capacidad de absorber 20kg CO2 anualmente cada uno según investigadores de la Fundación AQUAE, coincidentes con otros estudios. Aquí se aplicaron hipótesis para promediar el crecimiento de las diferentes especies en el término de 10 años. La cantidad de dióxido de carbono absorbido por estos árboles se proyecta hasta 2050. Es decir durante 20 años. Es lógico que a medida que transcurran los años el desarrollo de estas especies generará una mayor absorción de CO2. Pero a los efectos de impacto logrado decidimos no arriesgar sobre hipótesis de máxima, y ser moderados.
Con respecto a la mitigación en base a la eficiencia energética en iluminación de plazas y espacios verdes, se aplica las directrices metodológicas de la Secretaria de Energía Planeamiento energético (Abril 2021) basadas en las directrices del IPCC.
El factor de emisión se define como un valor representativo que intenta relacionar la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera con una actividad asociada a la emisión del contaminante. La herramienta utilizada para la estimación del factor de emisión de la red se puede aplicar para estimar el MO (Margen de Operación), BM (Margen de Construcción) y / o CM (Margen Combinado) para calcular las emisiones de línea base para un proyecto que sustituye a la energía generada en la red eléctrica que es donde el proyecto suministra electricidad o un proyecto genera ahorros de electricidad, que hubiese sido proporcionada por la red (por ejemplo, proyectos de eficiencia energética del lado de la demanda).
Con el objetivo de estimar la emisión de CO2 a la atmósfera, se consideraron las centrales de térmicas integradas al SADI (administradas por CAMMESA y de generación precaria) y, específicamente, el volumen de combustible utilizado por éstas, por máquina, para la generación de electricidad en los diversos años. Los autores de la Secretaría de Energía de la Nación, desarrollaron una metodología que consistió en calcular la emisión de cada central, de acuerdo al volumen de combustible, según tipos, los cuales fueron calculados por factores de emisión según correspondiera.

La tabla 2 nos muestra la estimación del factor de emisión en Argentina, es una herramienta para el cálculo del factor de emisón, "Tool to calculate the emission factor for an electricity system" Versión 7 de las Naciones Unidas. En la misma se ha señalado el valor que será utilizado para el Factor de emisión: Margen combinado para el año 2019 y Ponderación del factor de emisión del margen de operación (%). Cada país, según su matriz eléctrica posee un diferente factor de emisión, y es deseable sea lo menor posible.

Tabla 2: Estimación Factor de emisión Red Argentina. Fuente: Secretaria de Energía - Planeamiento energético Abril 2021

			2019	2018
Margen de Operación	Simple OM		0,4282	0,4635
Margen de Construcción			0,3440	0,4122
Margen Combinado	$W_{OM} = 0,75$ $W_{BM} = 0,25$	Simple OM	0,4071	0,4507
	$W_{OM} = 0,5$ $W_{BM} = 0,5$	Simple OM	0,3861	0,4379

Téngase en cuenta que referimos un sistema de generación de electricidad aproximadamente 60% hidrocarburo dependiente (esto es variable), pero el ingreso de las centrales térmicas (fuel oíl o gas), de ciclo combinado, hidráulicas, nucleares, eólicas, solares, este conjunto trabaja en forma dinámica, ingresan y salen centrales dependiendo de la demanda, y de las condiciones de servicio, mediante un riguroso programa que controla el sistema del despacho nacional de cargas en el Sistema Argentino de interconexión eléctrico (SADI), bajo la órbita de CAMMESA (Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico).

El cálculo del factor de emisión es complejo y dinámico, esta cifra que utilizaremos 0.4071, va a ir descendiendo hasta el años 2.030 y en lo sucesivo, en la medida que se cumplan los mandatos de la Ley 27.191 que establece como objetivo lograr una contribución de las fuentes renovables de energía hasta alcanzar el veinte por ciento (20%) del consumo de energía eléctrica nacional, al 31 de diciembre de 2025 sin incluir la gran hidráulica.

4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta las consideraciones realizadas que los 200.000 árboles de diferentes especies a los 11 años alcanzarían una madurez que contribuiría en absorber 20kg CO2 cada uno anualmente. Podemos inferir:

$$200.000\ Arboles\ x\ 20\frac{kgCO2}{año} = 4.000.000kg\ CO2$$

$$(1) \quad = 4.000\ tCO2e$$

La simple expresión (1) nos da la cantidad de dióxido de carbono que puede ser remitido por sumidero para el conjunto de árboles anualmente desde el año 2030. Proyectando esta cifra, hasta el año 2050, tendríamos realizando las consideraciones de absorción constante:

$$\frac{4.000tCO2e}{año}x\ 20\ años = 80.000tCO2e$$

(2)

Con respecto al cálculo de la eficiencia energética sólo está referido a aquellas plazas nuevas/ remodeladas, y espacios verdes incorporados a la ciudad (2018-2021) en los cuales se aplicaron criterios de eficiencia e iluminación calmada. La red vial de LED, u otros espacios previamente construidos no se han tenido en cuenta aquí.

Los espacios públicos analizados (con datos tomados del sistema de información geográfica del municipio), contemplan aproximadamente 18 plazas y plazoletas inauguradas, en ejecución o en licitación, 5 paseos, el Parque Sur totalmente reconvertido con una superficie de 96.500m2 que equivale a 11 plazas del tamaño de plaza Libertad de 8871m2, y además se incorporan algunos sectores del parque Aguirre, a ejecutarse.

Para calcular el total de energía consumida en un año, se ha tomado la potencia instalada media de 5,5KW para una superficie de 4.800m2 (este criterio se aplica a los espacios verdes y plazas, de modo de no sobrepasar un nivel de consumo), teniendo en cuenta la superficie total ponderada y extrapolando se tiene aproximadamente una potencia instalada en iluminación LED de 187KW.

Para calcular la energía hay que conocer cuantas horas al año funciona esta instalación, para alumbrado público de este tipo resulta sencillo estimar porque al tener un encendido y apagado automático mediante fotocélula, funcionan 10 horas por día los 365 días del año (11 en invierno y 9 en verano). La Energía total consumida por estas instalaciones, es:

$$187KWx\ 365\ dias\ x\ 10\frac{h}{dia} = 682{,}550KWh \quad (3)$$

La expresión (3) nos da un total de la energía proyectada durante un año, aquí vamos a aplicar otro supuesto, las anteriores instalaciones en aquellos espacios remodelados suponían un 30% más de consumo por las tecnologías instaladas, y esto mismo hubiese resultado de instalar lámparas de descarga en las nuevas plazas. La energía consumida en ese supuesto sería:

$$Energ\ LED\ (1 + 0{,}30) = Energ\ Descarga \quad (4)$$

$$682{,}550KWh \times (1 + 0,\ 30) = 887{,}315\ KWh$$

Y esa diferencia entre (3) y (4) es la energía ahorrada, y representa 204,765KW anuales.

$$Energía\ ahorrada x\ F\ emisión = tnCO2e \quad (5)$$

$$204{,}765KWh\ x\ 0{,}4071tCO2e/KWh \quad (6) = 83360tCO2e$$

Hasta el año 2035, estimando generosamente la vida útil de las instalaciones, tendríamos una mitigación de: 1,16MtCO2e. La suma de absorbido por los árboles, y lo mitigado al realizar instalaciones eficientes, no puede ser tomado, rigurosamente dadas las simplificaciones que se han realizado para los cálculos, pero sirven de guía para vislumbrar las acciones, que por más pequeñas que parezcan tienen enormes beneficios en este proceso de hacer frente a la acción climática.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó en el marco del Proyecto CICYT-FCEyT- UNSE, N° 23C/159.

6. REFERENCIAS

Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, *https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda* /15.7.2021

Ballester-Olmos y Anguís José F., Iluminación Artificial de las zonas verdes, *Hojas Divulgadoras* N°2121 HD, pag.4-7 Editor: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2006 IS.B.N 8449106923, 9788449106927

Castelao G, Gómez N, Finelli N, Distribución de espacios verdes públicos y calidad de vida, Análisis comparativo en tres municipios de la provincia de Santa Fé, VII Congreso Nacional de Geografía de Universidades Públicas y XXI Jornadas de Geografía de la UNLP, ISSN 2362-4221 - La Plata 2019.

Doblas-Reyes F Las cuatro conclusiones del Informe del IPCC sobre el impacto de la crisis climática *https://www.elperiodico.com/es/medio-ambiente/20210809/ipcc-informe-2021-conclusiones-resumen-11977556/12708/21*

Cálculo del Factor de Emisión de CO2 de la Red Argentina de Energía Eléctrica *https://cammesaweb.cammesa.com/operacion/* *http://datos.minem.gob.ar/dataset/calculo-del-factor-de-emision-de-co2-de-la-red-argentina-de-energia-electrica/. 9.7.2021*

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático- Informe en síntesis del 6° Informe de evaluación https://www.ipcc.ch/ar6-syr/.23.06.2021

Fuentes Norma, Discurso anual de la intendente ante el Honorable Consejo Deliberante de Santiago del Estero, Mensaje Anual de la Intendente Ing. Norma Fuentes | 07-05-21 | 18 Hs. *https://www.youtube.com/watch?v=bRymDwW9dDM/. 15.05.2021*

Keesler, D.; Orifici, L.; Blanco, G.; Situación actual y

proyección de emisiones de gases de efecto invernadero en la Argentina, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Junio 2019 para Greenpeace Argentina. *https://www.fio.unicen.edu.ar/images/pdf/2019/Informe_GREENPEACE_-_CTAE-FIO-UNICEN.pdf/.1.8.2021*

Los Arboles son los pulmones del planeta *https://www.fundacionaquae.org/.13.7.2021*

Lanfranchi, Gabriel; Cordara, Christian; Duarte, Juan Ignacio; Gimenez Hutton, Tobías; Rodríguez, Soledad; Ferlicca, Francesca; (octubre de 2018); ¿Cómo crecen las ciudades argentinas? Estudio de la expansión urbana de los 33 grandes aglomerados. Buenos Aires: CIPPEC. *https://www.cippec.org/wpcontent/uploads/2018/como-crecen-las-ciudades-argentinas-CIPPEC.pdf/.30.7.2021*

Ley de Presupuestos mínimos de adaptación y mitigación al Cambio Climático Global, N° 27.520/19; publicada en: *https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/.26.06.2021*

Ley General del Ambiente, N° 25,675/2002 *http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/verNorma.do?id=79980/.19.06.2021*

Los espacios verdes en las ciudades *http://argentinambiental.com/wp-content/uploads/pdf/AA55-06-Los_Espacios_Verdes_En_Ciudades.pdf/.18.5.2021*

Manzano E. et al. Eficiencia en la Iluminación de espacios urbanos. FACET-UNT, EDUNT, Marzo 2018. *https://www.facet.unt.edu.ar/luminotecnia/libro-eficiencia-en-la-iluminacion-de-espacios-urbanos/* .14.7.2021

Quiroga Martínez, Rayén; Indicadores de Cambio Climático en América Latina y el Caribe, Santiago, Chile Septiembre 05-07, 2017; Equipo de Estadísticas Ambientales División de Estadística, CEPAL *http://www.cepal.org/es/temas/estadisticas-ambientales/. 5.6.2021*

Medición de parámetros acústicos en un aula universitaria. Comparación de métodos.

Walter Diaz[†1], Ana Gómez Marigliano[*2], Manuel Lazarte[†]

diaz.walter@gmail.com
[†] Laboratorio de Física Aplicada/Acústica, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán
INFINOA / CONICET.
Avda. Independencia 1900, Tucumán, Argentina

RESUMEN

Uno de los factores importantes para el éxito del proceso de enseñanza- aprendizaje es que las aulas presenten, entre otras cosas, una buena calidad acústica. Nuestro grupo de investigación lleva adelante el proyecto PIUNT 26/E12, el cual tiene como uno de sus objetivos la medición y contrastación de distintos parámetros que ayudan a caracterizar acústicamente un ambiente. Los estudios realizados en aulas de establecimientos escolares y en distintas Facultades de la UNT muestran una muy mala calidad acústica, problema originado principalmente en el diseño y la construcción de dichos ambientes. Muchos de ellos, además, presentan valores muy elevados de ruido de fondo. Así, la mayoría de las instalaciones no cumple los requisitos acústicos para los que ha sido destinado. Este trabajo presenta las mediciones realizadas en un aula altamente reverberante, la cual presenta una distribución espacial del tiempo de reverberación variable con las diferentes frecuencias. Se discuten los resultados obtenidos con distintas metodologías usando programas de cálculos acústicos de uso libre, siendo similares dentro del error. Los resultados que usan los criterios de Sabine son distintos, aunque presentan una tendencia espacial similar.

Palabras claves: Acústica - Ruido – Reverberación - Aulas

ABSTRACT

One of the important factors for the success of the teaching-learning process is that the classrooms have, among other things, good acoustic quality. Our research group carries out the PIUNT 26 / E12 project, which has as one of its objectives the measurement and contrast of different parameters that help to acoustically characterize an environment. The studies carried out in classrooms of school establishments and in different Faculties of the UNT show a very poor acoustic quality, a problem originating mainly in the design and construction of these environments. Many of them also have very high background noise values. Thus, most installations do not meet the acoustic requirements for which it has been intended. This work presents the measurements made in a highly reverberating classroom, which presents a variable spatial distribution of reverberation time with different frequencies. The results obtained with different methodologies using free use acoustic calculation programs are discussed, being similar within the error. The results using Sabine's criteria are different, although they present a similar spatial trend.

Keywords: Acoustics – Noise - Reverberation - Classroom

1. INTRODUCCION

Al diseñar un aula se deben tener muy en cuenta consideraciones respecto a su desempeño acústico, dado que la comunicación verbal es el canal principal para la transmisión del conocimiento. Es decir, el diseño debe asegurar que los factores involucrados en la comunicación tengan los valores adecuados asegurando la transmisión exitosa del mensaje oral. [Hodgson (2013), Zanin (2007)]

El presente trabajo es motivado por una inquietud de un Instituto de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán, respecto a un aula docente que posee un comportamiento altamente reverberante.

Cuando una onda sonora se propaga en el aula y entra en contacto con las superficies presentes se ve modificada en su dirección, espectro y magnitud. Como resultado, el oyente recibirá primero el sonido directo, seguido de las reflexiones tempranas, especulares y difusas, y luego las reflexiones tardías o reverberación. La respuesta impulsiva (RI) del recinto, caracteriza en el dominio del tiempo el comportamiento de las ondas sonoras para una ubicación particular de fuente – receptor.

Si el recinto se puede considerar como un sistema lineal, la transformada de Fourier define su función transferencia (FT) la cual caracteriza al recinto en el dominio de la frecuencia, así como la RI lo hace en el dominio del tiempo. (Saposhkov, 1983)

Con la RI del recinto es posible conocer algunos parámetros acústicos de acuerdo con la norma ISO 3382. De estos parámetros nos interesan aquellos que permiten la obtención del tiempo de reverberación, aunque por la metodología utilizada también se pueden obtener aquellos que evalúan las relaciones de energía entre diferentes porciones de la RI, los cuales son necesarios para caracterizar la inteligibilidad del habla.

Los parámetros que se miden son los diferentes tiempos de reverberación: T_{20} (entre -5 y -25 dB), T_{30} (entre -5 y -35 dB) y el EDT (early decay time: EDT, entre 0 y -10 dB). El T_{20} y el T_{30} están relacionados con las propiedades físicas del recinto, mientras que el EDT está estrechamente vinculado con la percepción subjetiva de la reverberación.

Para obtener la RI de un recinto uno de los métodos utilizados propone como señal de excitación ráfagas de ruido filtrados por bandas, pero tiene el inconveniente que es altamente sensible a la relación señal ruido. En cambio, la utilización de señales continuas permite, mediante un procesamiento posterior, la RI del lugar en estudio minimizando la influencia de la relación señal ruido. Estos métodos indirectos han sido adoptados en la norma ISO 3382.

Otro parámetro que se mide en el trabajo es el índice de transmisión de la palabra (STI en inglés), el cual permite determinar la calidad de la transmisión de la palabra y puede predecir la inteligibilidad del mensaje en diferentes ambientes acústicos. (Steeneken, 1980)

El método se basa en utilizar como excitación una señal modulada a través de una función de transferencia de modulación (MTF en inglés). Una vez decodificada en el receptor, se comparan ambas señales. Se parte del supuesto que la reducción de modulación de una señal modulada es causada por ruido y / o reverberación. Estas modulaciones reducidas en el habla conducen a una inteligibilidad deteriorada.

Se adopta este método porque aporta algunas ventajas respecto a otros parámetros acústicos propuestos para medir la inteligibilidad de la palabra en recintos. (Bistafa, 2000)

Este trabajo también aborda la medición del tiempo de reverberación (TR) a partir de la ecuación de Sabine el cual dependerá de las condiciones del aula (dimensiones y materiales de construcción).

$$TR_{60} = \frac{0{,}161\ V}{A}$$

Donde TR_{60} es el tiempo de reverberación medido en segundos, V el volumen del aula en m^3 y A es el área total de absorción en sabin. Se utiliza esta ecuación en lugar de la de Eyring-Norris, por las condiciones de poca absorción de las paredes del aula.

Luego, se hacen mediciones con programas de computadora de uso libre cuyo procesamiento permite obtener todos los parámetros acústicos mencionados incluyendo el STI.

Con estas mediciones, se realiza una comparación de los valores obtenidos por los distintos métodos.

1 METODOS Y MATERIALES

1.1 *Características del Aula*

El uso principal del aula es la docencia y sus dimensiones son los que figuran en la tabla 1. El techo es de hormigón pintado y las paredes de mampostería son de revoque común. Su mobiliario consiste en un escritorio metálico y 8 sillas (de madera y metal) dispuestas en configuración típica de un aula. Un pizarrón se ubica cubriendo gran parte de una de las paredes.

Tabla 1. Dimensiones del Aula

Dimensiones	(m)
L_1 (ancho)	3,8
L_2 (largo)	7,8
L_3 (altura)	4,15
Volumen (m^3)	123

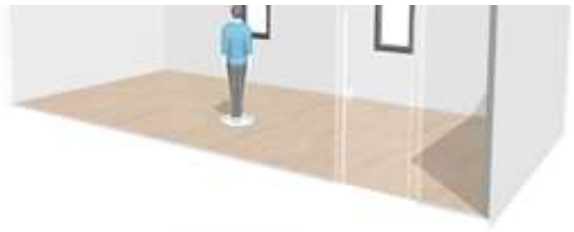


Figura 1: Vista del Aula estudiada

En las paredes se encuentran suspendidos canales metálicos que sostienen la instalación eléctrica. Hay dos ventanas vidriadas de marco de aluminio de dimensiones de 1 m x 0,4 m y una puerta de metal pintada de dimensiones de 2 m x 0,9 m. Se pueden apreciar en las figuras 2 y 3.



Figura 2: Vista frente al pizarrón del Aula estudiada



Figura 3: Vista del fondo del Aula estudiada

1.2 *Parámetros por medir*

Los parámetros por medir son:

El tiempo de reverberación TR se define como el tiempo transcurrido desde que la fuente sonora cesa su emisión hasta el instante en que el nivel de presión sonora decae 60 dB respecto de su valor inicial.

El tiempo de decrecimiento temprano (EDT, por sus siglas en inglés) es el parámetro que mejor se correlaciona con la percepción del tiempo de reverberación.

El índice energético temprano tardío, también llamado Claridad (Ct), es un indicador de la relación entre la energía temprana y la tardía de la Respuesta Impulsiva del Recinto.

Para medir la transmisión discursiva se utiliza el Speech Transmission Index (STI) o su versión más reducida Rapid Apllication Speech Transmission Index (RASTI).

1.3 *Métodos*

Se describen los métodos utilizados:
Formula de Sabine: método basado en la determinación indirecta del TR mediante la ecuación de Sabine.
Ruido interrumpido: se emite una señal de ancho de banda aleatoria, luego de que el campo acústico alcanza un equilibrio se interrumpe la señal midiendo la variación de la presión acústica en el tiempo.
Respuesta impulsiva: se utiliza una fuente impulsiva y se analiza la respuesta del ambiente a través de un software (Room EQ Wizard, disponible en www.roomeqwizard.com).
Se mide el índice RASTI a través del procesamiento que realiza el software ARTA. (disponible en http://www.artalabs.hr/index.htm)

1.4 *Instrumental Utilizado*

El equipamiento utilizado es el siguiente:

Tabla 2. Equipamiento utilizado

Las mediciones se realizaron con el aula vacía (sin personas) y el emisor de sonido omnidireccional se ubicó a 1 m del pizarrón a una altura de 1,60 m (estimación de altura de la boca de un docente parado). El micrófono de medición se ubicó en las

Sonómetro	Standard	IEC6172 - 1 Clase 2; Rango 31.5 Hz - 8kHz Precisión 1.4 dB
Pie de Micrófono		
Medidor ultrasónico de distancia	CP 3007	Rango 0,5 m a 18 m
		Apreciación 1 cm
Calibrador de nivel de sonido		Frecuencia: 1 kHz / ±0,1% Nivel de referencia: 94 dB y 114 dB Tolerancia: 0,3 dB (20°, 760 mm Hg)
Placa de sonido USB		Entrada de respuesta de frecuencia: 10 Hz - 30 kHz (0dB /-0.5dB)
Micrófono	Behringer ECM8000	Tecnología de condensador de electret. Característica omnidireccional
Medidor de parámetros ambientales		Mide temperatura y humedad relativa
Notebook Compaq N01 AR		

posiciones indicadas (a una altura de 1,2 m) en el esquema, a una distancia mínima de 1 m de la pared. Se eligieron cuatro posiciones, indicadas en la figura 4 en las intersecciones de las líneas: el punto (1,2), por ejemplo, es la intersección de la línea horizontal 1 con la línea vertical 2. Se realizaron tres mediciones por posición.

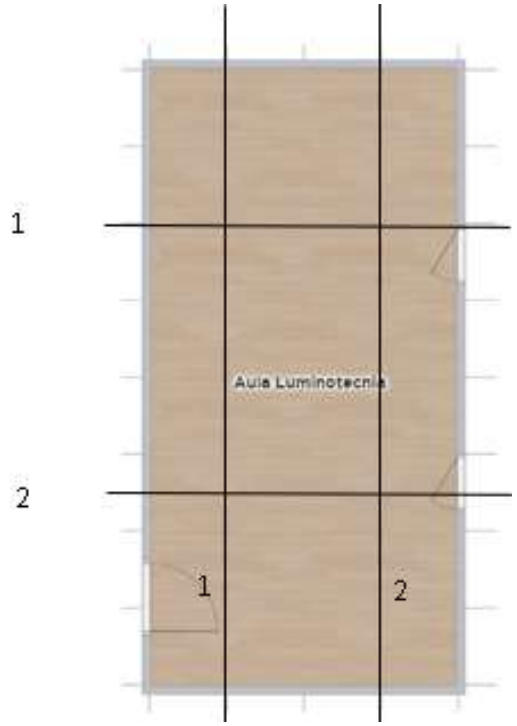


Figura 4: Vista de planta del Aula

2 MEDICIONES

La temperatura y humedad en el momento de realizar las mediciones arrojaron un valor de T = 23 ºC y HR = 60 %. El ruido de fondo se ubica en los 40,3 dBA. El tiempo de reverberación está definido como la duración en tiempo requerida para que la densidad de energía media en un recinto decrezca en 60 dB una vez que la emisión de la fuente ha cesado. Sin embargo, si el rango dinámico es menor que 60 dB, que es nuestro caso, se utiliza T_{30} o T_{20} evaluado sobre una disminución de 30 o 20 dB.

1.5 *Fórmula de Sabine*

El cálculo del tiempo de reverberación según el material presente en el aula, en bandas de octava

Tabla 3. Valores de TR según Sabine

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
TR60 Sabine	5,61	5,62	5,59	4,64	3,83	2,46

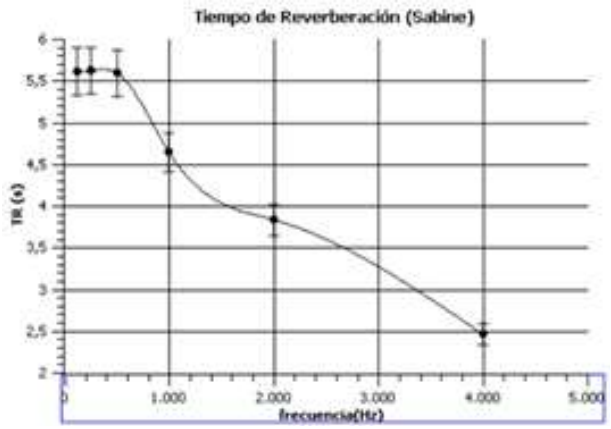


Figura 5: TR según Sabine

1.6 *Método del Ruido Interrumpido*

Se mide la intensidad en función del tiempo una vez que la fuente deja de emitir siguiendo las recomendaciones de la norma ISO. Se utiliza la definición de TR60 para el cálculo, pero como el nivel de ruido de fondo se ubica en los 40 dBA, es conveniente el cálculo de TR20 y TR30.

Los valores son:

Tabla 4. Valores de TR según el método de Ruido Interrumpido

Ubicación	TR20 (s)	TR30(s)	TR60(s)
1,1	2,5	3,7	7,5
1,2	2,2	3,3	6,6
2,1	2,5	3,7	7,5
2,2	1,8	2,7	5,4

1.7 *Respuesta Impulsiva*

El software RoomEq Wizard, utiliza el método de barrido sinusoidal logarítmico (Muller, 2001) el cual calcula las siguientes características acústicas a partir de la respuesta de la habitación a la señal emitida: Nivel de Presión Sonora (NPS) e impedancia; frecuencia y respuestas de impulso, gráficos de decaimiento espectral, espectrogramas y curvas de energía-tiempo; gráficos de analizador en tiempo real (RTA); calcula tiempos de reverberación, entre otras posibilidades. (Stan, 2002)

Los resultados para el tiempo de reverberación y otras magnitudes informados por el programa se informan en las tablas 5,6,7 y 8.

Tabla 5. Valores de Parámetros Acústicos de la Posición (1,1)

f (Hz)	125	250	500	1000
T20 (s)	2,833	2,470	2,489	2,112
T30 (s)	S/I	2,568	2,482	2,170
C50 (dB)	-1,55	-2,94	-3,52	-1,74
C80 (dB)	-0,35	-1,31	-2,56	0
D50 (%)	41,2	33,7	30,8	40,1
EDT (s)	2,374	2,100	2,453	2,307

Tabla 6. Valores de Parámetros Acústicos de la Posición (1,2)

f (Hz)	125	250	500	1000
T20 (s)	2,603	2,158	2,350	2,118
T30 (s)	2,687	2,343	2,258	2,089
C50 (dB)	-27,23	-25,75	-26,43	-24,39
C80 (dB)	-27,01	-24,86	-25,02	-23,35
D50 (%)	0,2	0,3	0,3	0,4
EDT (s)	4,798	4,739	5,073	4,782

Tabla 7. Valores de Parámetros Acústicos de la Posición (2,1)

f (Hz)	125	250	500	1000
T20 (s)	2,071	2,388	2,453	2,190
T30 (s)	S/D	2,471	2,461	2,156
C50 (dB)	-2,65	-4,19	-5,64	-4,03
C80 (dB)	-0,81	-1,97	-1,97	-1,90
D50 (%)	35,2	27,6	21,4	28,3
EDT (s)	1,706	2,100	2,108	2,061

Tabla 8. Valores de Parámetros Acústicos de la Posición (2,2)

F (Hz)	125	250	500	1000
T20 (s)	2,170	2,298	2,398	2,150
T30 (s)	2,074	2,205	2,323	2,207
C50 (dB)	-29,15	-28,25	-27,13	-25,28
C80 (dB)	-25,59	-25,33	-24,19	-23,25
D50 (%)	0,1	0,1	0,2	0,2
EDT (s)	5,421	4,777	5,012	4,869

1.8 *Respuesta Impulsiva*

Las mediciones ofrecidas por el software ARTA [10] permiten calcular los valores RASTI (Rapid Speech Transmission Index) en las distintas posiciones. El programa también brinda algunos de los parámetros acústicos medidos anteriormente. Los valores STI/ RASTI se relacionan con una clasificación cualitativa mediante la tabla.

Tabla 9. Valores de STI relacionados con escala subjetiva

STI / RASTI	%Al Cons	Valoración Subjetiva
0,88 - 1	1,4 - 0	Excelente
0,66 – 0,86	4,8 – 1,6	Buena
0,50 – 0,54	11,4 – 5,3	Aceptable
0,36 – 0,49	24,2 - 12	Pobre
0,24 – 0,34	46,5 - 27	Mala

Las siguientes tablas informan de los valores en las posiciones determinadas anteriormente.

Tabla 10. Valores de Parámetros Acústicos en la posición (1,1)

F(Hz)	125	250	500	1000
T20 (s)	1,984	1,861	1,837	1,773
T30 (s)	1,761	1,637	1,590	1,540
C50 (dB)	-2,15	-4,31	-4,73	-3,47
D50 (%)	37,85	27,04	25,19	31,03
EDT (s)	2,144	1,778	2,045	2,038

Los valores de STI medidos son:

RASTI = 0,4077
%ALcons = 18.7258
Rating: POBRE

Tabla 11. Valores de Parámetros Acústicos en la posición (1,2)

F(Hz)	125	250	500	1000
T20 (s)	2,681	2,232	2,320	2,111
T30 (s)	2,525	2,119	2,249	1,917
C50 (dB)	-1,99	-0,88	-2,63	0
D50 (%)	38,74	44,96	35,33	50,00
EDT (s)	1,996	2,029	2,519	2,226

Los valores de STI medidos son:

RASTI = 0,4966

%ALcons = 11.5667

Rating: ACEPTABLE

Tabla 12. Valores de Parámetros Acústicos en la posición (2,1)

F(Hz)	125	250	500	1000
T20 (s)	2,063	2,136	2,204	2,129
T30 (s)	2,023	2,031	2,130	1,914
C50 (dB)	-2,60	-3,76	-2,82	-3,73
D50 (%)	35,45	29,60	34,34	29,77
EDT (s)	1,712	2,065	2,338	2,129

Los valores de STI medidos son:

RASTI = 0,4346

%ALcons = 16.1818

Rating: POBRE

Tabla 13. Valores de Parámetros Acústicos en la posición (2,2)

F(Hz)	125	250	500	1000
T20 (s)	2,165	2,353	2,492	2,075
T30 (s)	2,041	2,165	2,361	1,896
C50 (dB)	-4,10	-3,59	-6,29	-4,34
D50 (%)	28,02	30,42	19,04	26,92
EDT (s)	2,306	2,351	2,541	2,125

Los valores de STI medidos son:

RASTI = 0,4055

%ALcons = 18,9433

Rating: POBRE

3 CONCLUSIONES

El aula es altamente reverberante tal cual lo confirman las mediciones realizadas por todos los métodos. Los valores de reverberación aceptables para espacios destinados a la enseñanza se encuentran en un rango de 0,5 a 0,8 s con valores muy próximos en la zona audible del espectro, es decir casi independiente de la posición y de la frecuencia.
Si bien el cálculo del tiempo de reverberación hecho con la fórmula de Sabine ha sido tomado para estimar un valor, acuerda en buen grado con los valores obtenidos por los otros métodos.
Los valores obtenidos con los programas de PC muestran una dependencia de la posición de medición lo que puede estar indicando que las reflexiones no se realizan en forma uniforme. Por otro lado, comparando las tablas se demuestra buen acuerdo en los valores medidos en la misma posición y frecuencias.
Se ha sugerido un tratamiento acústico del aula para bajar tanto el valor del TR así como mejorar el STI.

4 REFERENCIAS

Alton Everest F., Pohlmann K.C., *Master Handbook of Acoustics*, Mc Graw Hill Education, sixth edition

Bistafa,S. R. and Bradley,J. S. , "Reverberation time and maximum background-noise level for classrooms from a comparative study of speech intelligibility metrics," J. Acoust. Soc. Am., vol. 107, no. 2, pp. 861–875, 2000.

Cabrera,D., Xun,J. , and Guski,M. , "Calculating Reverberation Time from Impulse Responses: A Comparison of Software Implementations," Acoust. Aust., vol. 44, no. 2, pp. 369–378, 2016.

Hodgson,M., "Experimental investigation of the acoustical characteristics of university classrooms," Journal Acoust. Soc. Am, vol. 106, no. October 1999, pp. 1810–1819, 2013.

Muller, S. and Massarani, P., "Transfer-Function Measurement with Sweeps," J. Audio Eng. Soc. Eng, vol. 49, no. 6, pp. 443–471, 2001.

Saposhkov, M. A., *Electroacústica*, Reverté, Barcelona, 1983.

Stan, G. B. , Embrechts, J. J. , and Archambeau, D., "Comparison of different impulse response

measurement techniques," AES J. Audio Eng. Soc., vol. 50, no. 4, pp. 249–262, 2002.

Steeneken, H. J. M. and Houtgast, T. , "A physical method for measuring speech-transmission quality," J. Acoust. Soc. Am, vol. 67, no. January 1979, pp. 318–326, 1980.

Zannin,P. H. T. and Marcon,C. R. , "Objective and subjective evaluation of the acoustic comfort in classrooms," Appl. Ergon., vol. 38, no. 5, pp. 675–680, 2007.

Sistemas campesinos de Santiago del Estero, crisis de polinizadores y vulnerabilidades. Un acercamiento a través de redes de interacción.

Grimaldi, Pablo A.[1,2]; Cilla, Gabriela[2] y Céspedes, Fernando N.[3]

(1) Laboratorio Ecotono, INIBIOMA-CONICET.
pablogrim22@gmail.com

(2) Centro de Investigaciones Apícolas (CEDIA), Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero

(3) Cátedra de Botánica Agrícola, Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero

RESUMEN

Los sistemas campesinos pueden entenderse como sistemas complejos donde diferentes componentes interaccionan entre sí. En Santiago del Estero, las familias campesinas utilizan el monte para satisfacer necesidades, estando en continua relación con el ambiente y sus componentes. Sin embargo, diversas problemáticas a nivel regional, sociales y ambientales, pueden afectar las relaciones. Una muy importante es la polinización, por sus aportes directos e indirectos a los ecosistemas. Se propone analizar la vulnerabilidad frente a la crisis actual de polinizadores de 4 sistemas campesinos santiagueños, utilizando metodología etnobiológica y ecológica, específicamente redes de interacciones mutualistas. Evaluando las especies de plantas presentes en bordes de cultivos y huertas, sus usos y las abejas que se comportaban como visitantes florales, se determinó que la diversidad de abejas es baja (18 especies) y están asociadas a ocho familias botánicas y cuatro usos. *Apis mellifera* (única especie exótica) es la más frecuente. Las redes muestran ser robustas frente a eventuales perturbaciones, como la pérdida de abejas y no se compromete la satisfacción de alguna necesidad. Esta aproximación al estudio de sistemas campesinos a través de redes de interacción permite comprender la forma en que los componentes de estas redes están relacionados e interactuando a diferentes niveles.

ABSTRACT

Peasant systems can be understood as complex systems where different components interact with each other. In Santiago del Estero, peasant families use the forest to satisfy needs, being in continuous relationship with the environment and its components. However, various problems at the regional level, social and environmental, can affect relationships. A very important one is pollination, due to its direct and indirect contributions to ecosystems. It is proposed to analyze the vulnerability to the current crisis of pollinators of 4 Santiago peasant systems, using ethnobiological and ecological methodology, specifically networks of mutual interactions. By evaluating the plant species present at the edges of crops and orchards, their uses and the bees that behaved as floral visitors, it was determined that the diversity of bees is low (18 species) and they are associated with eight botanical families and four uses. *Apis mellifera* (the only exotic species) is the most frequent. The networks show to be robust in the face of eventual disturbances, such as the loss of bees and the satisfaction of any need is not compromised. This approach to the study of peasant systems through interaction networks allows us to understand the way in which the components of these networks are related and interacting at different levels.

Palabras claves: polinizadores - sistemas campesinos – vulnerabilidad - sistemas complejos.

Key words: pollinators - peasant systems – vulnerability - complex systems

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas son sistemas complejos donde los componentes se relacionan entre sí y cumplen una función, es decir, realizan las actividades necesarias para el establecimiento y mantenimiento del sistema (Ferreira Júnior *et al*., 2015). De modo que las características del mismo, están dadas por los rasgos de cada uno de sus componentes como también de los atributos generados de la relación entre ellos (Odum y Barret, 2004; Maturana y Varela, 2007).

Los sistemas campesinos pueden entenderse como un sistema complejo donde los humanos y demás componentes interaccionan y se interrelacionan. Teniendo en cuenta un bosque, no solo dependerá de los polinizadores para su mantenimiento, sino por ejemplo de los usos y prácticas que comunidades humanas realicen sobre sus componentes y las modificaciones que provoquen en el ambiente.

En Santiago del Estero, numerosas familias campesinas hacen uso de los componentes del monte. De modo que humanos, plantas, animales y ambiente están en continua interacción conformando un sistema llamado biocultural (Alarcón Cháires, 2017). Estos sistemas campesinos de Santiago del Estero, presentan una complejidad estructural biológica, política, social y cultural. Desde el punto de vista biológico y cultural, muchas comunidades dependen de manera directa de los recursos que el monte les brinda para satisfacer numerosas necesidades, como alimento, medicina, forraje para el ganado, entre otros (Togo *et al*., 1990; Roic y Villaverde, 2007), lo cual a su vez les brinda identidad cultural. Desde el punto de vista político y social, su territorio desde la conquista sufrió grandes transformaciones políticas y sociales que culminaron con una provincia con fuertes raíces amerindias.

Ahora bien, el mismo monte que brinda alimento y cultura, no está ajeno a las diferentes problemáticas a nivel global que amenazan los ecosistemas, pérdida de biodiversidad, cambio climático, entre otros (Shivanna *et al*., 2020). Escasez de agua, contaminación, modificación del hábitat, explotación no sustentable, uso irracional del suelo, fueron algunos de las problemáticas señaladas para la provincia (Fernández Cirelli *et al*., 2007). Todos estos problemas no solo afectan la integridad económica, social y cultural de las familias campesinas, sino también un aspecto clave dentro del ecosistema, como lo es el proceso de polinización.

Actualmente a nivel global, la crisis de polinizadores preocupa cada vez más a la comunidad científica (Bartomeus y Dicks, 2019). La polinización animal contribuye al éxito reproductivo de aproximadamente el 90% de las plantas con flores (Kearns *et al*., 1998), ayuda a la supervivencia humana de manera indirecta manteniendo la biodiversidad y estabilidad de los ecosistemas (Aizen y Harder, 2009) y directamente a la polinización del 75% de los cultivos que más se producen a nivel mundial (Klein *et al*., 2007).

Garibaldi y colaboradores (2016) postulan que se hace necesario mejorar los medios de vida de las comunidades campesinas o rurales, integrando a la biodiversidad otras acciones o herramientas que actúen de manera sinérgica para aumentar el rendimiento de sus cultivos y reducir los impactos ambientales negativos. Sobre todo, acciones que involucren a los polinizadores, como por ejemplo: siembra de franjas de flores y plantación de setos que proporcionan recursos, uso más específico de pesticidas y / o restauración de áreas seminaturales y naturales adyacentes a los cultivos (Garibaldi *et al*., 2014).

En este trabajo se propuso realizar una aproximación sobre la vulnerabilidad de los sistemas rurales santiagueños frente a la crisis actual de polinizadores. Utilizando el enfoque de redes complejas de interacción (Jordano *et al*., 2009), este estudio permitirá comprender como funcionan y qué tan resilientes o robustas son las comunidades ante la pérdida de la biodiversidad (Martínez-Falcón *et al*., 2019)

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este trabajo se utilizó una óptica interdisciplinar, con conceptos y herramientas ecológicas y etnobiológicas. Para ello, durante el período 2016 al 2018 se trabajó en 4 sistemas rurales de Santiago del Estero; dos ubicados en el departamento Banda y uno en el departamento Robles y Atamisqui respectivamente. Todos los sistemas presentaban diferentes grados de tecnificación, actividades productivas de sustento familiar y complejidades socio ambiental. En ese período se realizaron diferentes intervenciones y en todos los casos se pidió el consentimiento libre, previo e informado, que consta de informar a las familias involucradas el trabajo a realizar, la finalidad del mismo, quienes y en que forma se realizaran las actividades y toda otra información que las familias involucradas en el trabajo soliciten (FAO). Sumado a ello, se siguió el código de ética de la SOLAE (Contreras *et al*., 2016).

Recolección de datos ecológicos

La apifauna asociada a los bordes de cultivo o huertas fue muestreada durante la temporada de primavera-verano de 2016–2017 y 2017–2018. Se siguió el método de muestreo descrito por Sakagami y colaboradores (1967), que consiste en capturar activamente, con red entomológica, las abejas sobre las flores que visitan. Se recorrieron los bordes (en cada sistema) deteniéndose durante 15 minutos al encontrar un parche con flores. Los puntos de

captura no fueron fijos y la cantidad de éstos estuvo determinada por el ritmo de floración; el esfuerzo de muestreo fue calculado por las horas de captura. En cada ambiente se llevaron a cabo 4 jornadas de colecta, cada una de ellas realizadas en el mes de noviembre, diciembre, febrero y la última en el mes de marzo. El tiempo de colecta en cada jornada fue de tres horas, entre las 9:00 y las 16:00 horas. Los insectos capturados fueron montados en cajas entomológicas, registrándose la especie vegetal sobre la que se encontraba. El material fue herborizado para su posterior identificación. Las especies de referencia fueron depositadas en la colección entomológica del Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia" y en el herbario de la Cátedra de Botánica Agrícola de la Facultad de Agronomía y Agroindustria, Universidad Nacional de Santiago del Estero.

Análisis de datos

Los insectos y las plantas se identificaron hasta el menor nivel taxonómico posible. Los ejemplares vegetales fueron determinados por los autores. Se siguió la nomenclatura botánica de Flora Argentina (Anton y Zuloaga, 2021).

Las abejas fueron identificadas por miembros del equipo de trabajo, utilizado bibliografía sobre revisiones de distintos grupos taxonómicos y consulta a especialistas (Roberts, 1973; Silveira *et al*., 2002; Coelho, 2004; Hanson y Gauld, 2006; Silveira y Almeida, 2008). Junto con el nombre científico se registró su abundancia en escala porcentual.

Los datos se utilizaron para construir las siguientes redes: visitantes florales *versus* las familias botánicas y visitantes florales *versus* los usos de cada familia botánica. Para ello se utilizó el paquete "Bipartite" (Versión 2.16, Dormann *et al*., 2016), del software R, utilizando el entorno de programación RStudio en su versión 4.1 (R Core Team, 2021).

Se analizó la topología de la red, definida como la estructura de la red, es decir, la forma en que se distribuyen los enlaces entre los componentes del sistema (Jordano *et al*., 2009). Para ello se determinó:

- el tamaño de la red, es decir el número total de nodos o especies, S (Dunne *et al*., 2002)
- número de conexiones, cantidad de enlaces observados en la red, L (Dunne *et al*., 2002)
- densidad de conexiones, número de enlaces por especie L/S (Dunne *et al*., 2002). Este parámetro da cuenta del promedio de enlaces por especie (Montoya et al. 2006; Tylianakis *et al*., 2007)
- la robustez de la red (R), mide la capacidad de resiliencia frente a eventos de extinción de especies (Bascompte y Jordano, 2007), valores cercanos a 1 indican un sistema muy robusto, por lo contrario valores cercanos a cero denotan un sistema muy frágil. Se midió tanto para las abejas como para las familias botánicas.

Se simuló la forma en que la red "visitantes florales *vs.* familias botánicas" se comportó frente a la pérdida de especies de abejas. Para ello, se quitaron aquellas especies con mayor número de enlaces y se volvió a calcular para la subred la robustez. Solo se tuvo en cuenta para este análisis la robustez de los visitantes florales. Se observó el comportamiento del parámetro y si existían diferencias a través de una prueba de homogeneidad chi-cuadrado.

RESULTADOS

Se registraron nueve familias botánicas que presentan diferentes usos (alimenticio, forrajero, medicinal, industrial), otras señaladas como tóxicas para el ganado (Tabla 1) y, 19 visitantes florales. Solo un visitante floral es exótico (*Apis mellifera* L.).

Tabla 1. Familias botánicas y usos registrados. Referencias: A: alimenticio; F: forrajero; I: industrial; M: medicinal; T: tóxico.

Familia	Usos
Asteraceae	F, T
Apocynaceae	A, I, F
Cactaceae	A, F
Cucurbitaceae	A
Fabaceae	M, I, F
Lamiaceae	M
Malvaceae	M, F
Solanaceae	F

Para la red visitaste florales *vs* familias botánicas (fig. 1a) el total de interacciones posibles es 144,

sin embargo, se observaron 39 conexiones (27%). La densidad de conexiones para la red es de 1.5, en contraste, el promedio de conexiones para las abejas fue 2.17 y para las familias botánicas 4.87. Se encontró que la robustez de la red frente a la pérdida de visitantes florales fue 0.77, lo que corresponde a un valor bastante alto. La robustez cambia frente a la pérdida de especies, sin embargo, no se observan diferencias significativas. La mayor variación se dió con la perdida de *X. splendidula* (Tabla 2). Para las familias botánicas la robustez disminuyo a 0.67. En cuanto a los visitantes florales, *A. mellifera* concentró el 13% de las interacciones y con respecto a las familias, Asteraceae el 33%. Es de destacar que Malvaceae y Cactaceae reunieron el 21% y 18% de las interacciones respectivamente. También se observó una alta representatividad de Fabaceae. Asimismo, es de destacar, la interacción entre *P. fervens* con los representantes de la familia Cucurbitacea exclusivamente y *M. rotundata* con representantes de Lamiaceae.

En la red visitantes florales *vs* usos (fig. 1b), el total de interacciones posibles es 90, registrándose 54 (60%). La densidad de conexiones para la red es 2.35, observándose 3 conexiones promedio para las abejas y 10.8 para los usos. La robustez para la pérdida de visitantes florales fue 0.93. *A. mellifera* nuevamente concentró un gran porcentaje de las interacciones totales (9.29%), a pesar de ello, las abejas *P. catamarcensis, P. molesta*, *D. pereyra, E. (Phanomalopsis) trifaciata, A. semimelleus y X. splendidula* muestran altos porcentajes de interacciones (7.41% cada una). En el caso de los usos, el forrajero, tóxico y el medicinal son los que más interacciones agruparon, 29.63%, 24.07% y 22.22% respectivamente.

De manera general se pudo observar la baja frecuencia de interacciones que abejas diferentes a *A. mellifera* realizan en los sistemas estudiados. *A. mellifera* visitó a más del 50% de las familias botánicas y aportó a todos los usos. Esta abeja exótica mantiene altos porcentajes de interacciones y parece ser una especie importante en dichos sistemas.

Tabla 2. Evaluación de la robustez de los visitantes florales frente a la simulación de extinción de abejas en el sistema.

	R. Visitantes florales	Chi-cuadrad
Robustez (R) general de la red	0.77	
R. sin *Apis mellifera*	0.76	
R. sin *Xylocopa splendidula*	0.73	χ^2=1.6
R. sin *Exomalopsis (Phanomalopsis) trificiata*	0.76	p=0.449
R. sin *Agapostemon semimelleus*	0.75	

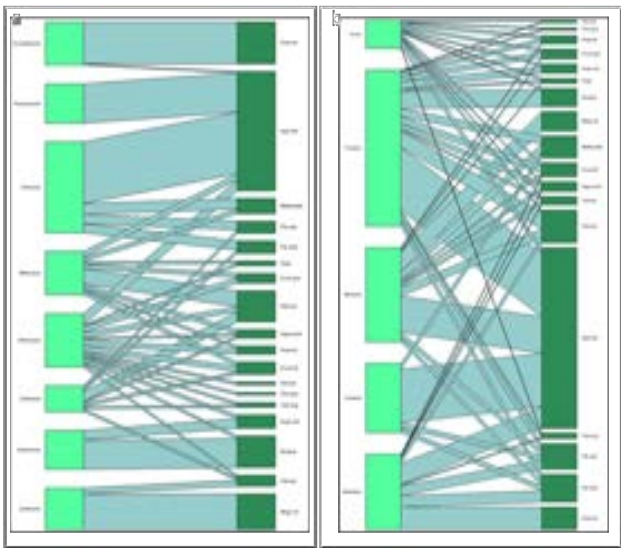


Figura 1. Red de interacción entre visitantes florales *vs* familias botánicas (a) y visitantes florales *vs* usos (b). El ancho de los enlaces se escala en relación con las frecuencias de interacción; los tamaños de las barras de cada componente de acuerdo a las frecuencias de interacciones totales. Referencias: Apis.mel=*Apis mellifera,* Melissoptila=*Melissoptila sp.,* Bombus=*Bombus spp.,* Diad.per=*Diadasia pereyra,* Exom.trif=*Exomalopsis (Phanomalopsis) trifaciata,* Exom.gua=*Exomalopsis (Phanomalopsis) gualmaba,* Pepo.fer=*Peponapis fervens,* Ple. cata=*Plebeia catamarcensis,* Ple.mole=*P. molesta,* Xylo.aug=*Xylocopa augusti,* Xylo.spl=*Xylocopa splendidula,* Agap.semi=*Agapostemon semimelleus,* Augo=*Augochlora (Oxystoglossella),* Augo. mer=*Augochlorella meridionalis,* Augo. sp=*Augochloropsis sp.,* Dial.aus=*Dialictus austranellus,* Chry.gua=*Chrysosarus guaranitica,* Mega.rot=*Megachile rotundata*.

DISCUSIÓN

En esta primera aproximación sobre el análisis de sistemas complejos, como lo son los sistemas bioculturales, utilizando metodología de redes de interacción se puede observar que las familias rurales en Santiago del Estero, no solo dependen de los componentes que puedan extraer del monte (Morend *et al*., 2018; Grimaldi *et al*., 2019; Carrizo *et al*., 2020; Palacio *et al*., 2020), sino también de otros componentes como los polinizadores.

Las redes permiten mostrar, a través de los enlaces que denotan la interacción planta-polinizador, que las familias botánicas representativas de la región chaqueña, ya sea por la diversidad de especies (Morelo *et al*., 2012) como por los usos que presentan, están vinculadas a numerosas especies de abejas. La

mayoría de estas son nativas, aunque la única especie exótica domina el porcentaje de interacciones en las redes.

En ambas redes, existen componentes que son claves en el mantenimiento de ese sistema. Desde el punto de vista de los visitantes florales, *A. mellifera* es la más relevante si se tiene en cuenta su porcentaje de interacción. Sin embargo, el sistema muestra mayor vulnerabilidad si se pierde *X. splendidula* (Tabla 2). La falta de significancia en el análisis de robustez con la simulación de pérdida de abejas puede deberse a que los sistemas son, por lo general, menos vulnerables a la pérdida de pocas especies, y menos aún si la pérdida involucra a los visitantes florales, como lo expresan Bascompte y Jordano (2007). No obstante, si bien los esfuerzos de muestreo para cada sitio fueron similares, creemos necesario realizar muestreos más intensos en los cuatro sistemas.

Por otro lado, las familias botánicas cuyos representantes presentan más usos, muestran una alta frecuencia de visita de la abeja exótica. Esto pude deberse a que *A. mellifera* es considerada una especie generalista a la hora de buscar y utilizar recursos florales (Goulson, 2003; Da Luz *et al*., 2007).

Si bien, la diversidad de especies y familias presentes en los sitios de muestreo de los sistemas rurales en los cuales se trabajó no es alto, se puede apreciar que son espacios multipropósito, como lo observado en otros sistemas campesinos o tradicionales de Argentina (Trillo *et al*., 2014; Furlan *et al*., 2015; Grimaldi y Trillo, 2018). Los bordes de cultivo (que suelen estar formados por elementos vivos y muertos) presentan una diversidad de plantas que no solo cumplen el rol de barrera física para el ganado (Jorge y Helman, 2017; Grimaldi y Trillo, 2018; Grimaldi *et al*., 2019), sino también sitios de recolección de especies con diferentes usos, como medicinales, forrajeras o alimenticias, como se observa en el presente trabajo. Sumado a ello, son ambientes con valiosos recursos tróficos para la diversidad de insectos que habitan el monte.

Ferreira Júnior y colaboradores (2015), postulan que los sistemas se ven afectados por diferentes perturbaciones (biológicas, sociales, culturales), que amenazan el funcionamiento y su identidad. Estos disturbios pondrían en relieve la vulnerabilidad de un sistema, ya que de acuerdo a la capacidad que tenga el mismo de reorganizarse, absorber las perturbaciones y mantener su estructura e identidad, será más o menos resiliente (Walker *et al*., 2004; Ferreira Júnior *et al*., 2015).

CONCLUSIÓN

Las redes de interacción son una herramienta importante para evaluar los sistemas campesinos, rurales o tradicionales. Debido a que, como los sistemas rurales con los cuales trabajamos, no están al margen de la crisis de polinización actual, representada por los bajos valores de riqueza de especies de insectos y por la alta dependencia a unas pocas. Este trabajo es una aproximación complementaria para describir vulnerabilidades o fortalezas y tener una visión más holística de la complejidad de estos sistemas. Describe cómo posibles perturbaciones afectarían no solo la diversidad biológica del monte, sino como ello afectaría aguas abajo la realidad de las familias campesinas de Santiago del Estero, que hacen uso de esa diversidad.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a las familias con las que se trabajó en el presente estudio y a Arturo Roig Alsina por su ayuda en la identificación de las especies de abejas. Además, agradecemos al Centro de Investigaciones Apícolas (FAyA-UNSE), al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas y al MINCyT por su apoyo.

REFERENCIAS

Aizen, M. A. & Harder, L. D. The global stock of domesticated honey bees is growing slower than agricultural demand for pollination. *Current biology*, 19(11), 915-918, 2009.

Alarcón-Cháires, P. *Epistemologías otras: conocimientos y saberes locales desde el pensamiento complejo*. México: Tsítnani, AC/ UNAM, 2017.

Anton y Zuloaga (directores), Flora Argentina, consulta Agosto 2021, http://www.floraargentina.edu.ar/

Bartomeus, I. & Dicks, L. V. The need for coordinated transdisciplinary research infrastructures for pollinator conservation and crop pollination resilience. *Environmental Research Letters*, 14(4), 045017, 2019.Bascompte, J. & Jordano, P. Plant-Animal Mutualistic Networks: The Architecture of Biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 38(1):567-593, 2007.

Carrizo, E. D. V., Céspedes, F. N. & Leguizamón, B. Plantas útiles en Tuama (Silípica, Santiago del Estero). En Actas del 2° Congreso del Gran Chaco Americano, 2020.

Coelho, B. W. T. A review of the bee genus Augochlorella (Hymenoptera: Halictidae: Augochlorini). *Systematic Entomology* 29, 282–323, 2004.

Contreras, E. J. C., Medinaceli, A., Diago, O. L. S. & Villamar, A. A. Código de Ética para la Investigación, la Investigación-Acción y la

Colaboración Etnocientífica en América Latina. Versión Dos. *Etnobiología*, 13(4), 5-6, 2016.

Da Luz, C. F. P., Thome, M. L., & Barth, O. M. Recursos tróficos de *Apis mellifera* L. (Hymenoptera, Apidae) na região de Morro Azul do Tinguá, Estado do Rio de Janeiro. *Brazilian Journal of Botany*, 30(1), 29-36, 2007.

Dormann, C. F., Fründ, J. & Gruber, B. Package "bipartite". Visualising bipartite networks and calculating some (ecological) indices (version 2.07), 2016. Available at https://cran.rproject.org/web/packages/bipartite/index.html (accessed: 11/08/17).

Dunne, J. A., Williams, R. J. & Martinez, N. D. Network structure and biodiversity loss in food webs: robustness increases with connectance. *Ecology Letters*. 5(4):558–567, 2002.

Fernández Cirelli, A., Pérez Carrera, A. & Moscuzza, C. H. *Evaluación de la situación ambiental y socioeconómica a través de indicadores. Estudio de caso: Santiago del Estero, Argentina*. Evaluación de los usos del agua en las tierras secas de Iberoamérica, 2007.

Ferreira Júnior, W. S., Nascimento, A. L. B., Ramos, M. A., De Medeiros, P. M., Soldati, G. T., Santoro, F. R., ... & Albuquerque, U. P. Resilience and adaptation in social-ecological systems. En Evolutionary ethnobiology (pp. 105-119). Springer, Cham, 2015.

Furlan, V., Cariola Szuchman, L., García, D. S. & Hilgert, N. I. Caracterización de los sistemas agroforestales familiares y estrategias de uso del ambiente en el Bosque Atlántico Argentino. *Gaia Scientia*; 9 (3), 69-81, 2015.

Galvagne Loss, A. T., Costa Neto, E. M., Graco Machado, C. & Moreira Flores, F. Ethnotaxonomy of birds by the inhabitants of Pedra Branca Village, Santa Teresinha municipality, Bahia state, Brazil. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*. 10, 55, 2014.

Garibaldi, L. A., Carvalheiro, L. G., Leonhardt, S. D., Aizen, M. A., Blaauw, B. R., Isaacs, R., ... & Winfree, R. From research to action: enhancing crop yield through wild pollinators. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12(8), 439-447, 2014.

Garibaldi, L. A., Carvalheiro, L. G., Vaissière, B. E., Gemmill-Herren, B., Hipólito, J., Freitas, B. M., ... & Zhang, H. Mutually beneficial pollinator diversity and crop yield outcomes in small and large farms. *Science*, 351(6271), 388-391, 2016.

Goulson, D. Effects of introduced bees on native ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 34(1), 1-26, 2003.

Grimaldi, P. A. & Trillo, C. Prácticas y usos tradicionales de "cerco" y "monte" por los criollos de san marcos sierras (Córdoba, Argentina). *Bonplandia*, 27(1), 81-98, 2018.

Grimaldi, P. A., Cilla, G. & Morend, S. El camino de las cabras Conocimiento tradicional, valoración y manejo de plantas forrajeras caprinas en Santiago del Estero. *Revista de Agroecología Leisa* 35(4), 33-35, 2019.

Hanson, P.E. & Gauld, I. D. (eds.). Hymenoptera de la Región Neotropical. *American Entomological Institute* 77, 1–994, 2006.

Jordano, P., Vázquez, D. & Bascompte, J. Redes complejas de interacciones planta-animal. En *Ecología y evolución de interacciones planta-animal.* Medel, Aizen & Zamora (edts). Santiago: Editorial Universitaria, 2009.

Jorge, E. & Helman, S. El cerco como espacio de producción agrícola familiar campesina en Santiago del Estero, Argentina. RIA. *Revista de investigaciones agropecuarias*, 43(2), 175-185, 2017.

Kearns, C. A., Inouye, D. W. & Waser, N. M. Endangered mutualisms: the conservation of plant-pollinator interactions. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29: 83–112, 1998.

Klein, A. M., Vaissiere, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C. & Tscharntke, T. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the royal society B: biological sciences*, 274(1608), 303-313, 2007.

Martınez-Falcón, A. P., Martınez-Adriano, C. A. & Dáttilo, W. Redes complejas como herramientas para estudiar la diversidad de las interacciones ecológicas. *La biodiversidad en un mundo cambiante: Fundamentos teoricos y metodologicos para su estudio*, Editor Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Libermex, 265-283, 2019.

Matteucci, S. & Colma, A. Metodología para el Estudio de la Vegetación. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. OEA. Washington DC, EEUU. 169 pp, 1982.

Maturana, R. H. & Varela, F. J. A árvore do conhecimento. *As bases biológicas da compreensão humana*. Palas Athena, São Paulo, 2007.

Montoya, J. M., Pimm, S. L. & Solé, R. V. Ecological networks and their fragility. *Nature*. 442(7100), 259-264, 2006.

Morello, J., Matteucci, S. D., Rodríguez, A. F. & Silva, M. E. Ecorregiones y complejos ecosistemicos argentinos. 1 ed. Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires, Argentina. pp 752, 2012.

Morend, S., Grimaldi, P. A., Guzmán, A., Marozzi, P. & Cilla. G. Valor de uso cultural de especies y familias botánicas, en 4 sistemas de producción familiar de la provincia de Santiago del Estero. En: Cañadas, M. A. Libro de resúmenes Cuarto congreso del Foro de Universidades Nacionales

para la Agricultura Familiar. Ediciones INTA, 2018.
Odum, E. P. & Barrett, G. W. Fundamentals of ecology. Brooks Cole, Belmont, 2004.
Palacio, M. O., Roger, E., Carrizo, E., Céspedes, F., Díaz, R. y Vecchioli, S. Diversidad y usos populares de arbustos en bosques serranos de Santiago del Estero, Argentina. En: Actas del 2º Congreso Internacional del Gran Chaco Americano, 2020.
R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2021. URL https://www.R-project.org/.
Roberts, R. B. Bees of northwestern America: Agapostemon (Hymenoptera: Halictidae). Agricultural Experiment Station, Oregon State University, *Technical Bulletin* 125, 1–23, 1973.
Roic, L. D., & Villaverde, A. A. Flora popular santiagueña. Aporte preliminar (1° ed.). Santiago del Estero: El Liberal SRL. 66 pp, 2007.
RStudio Team. RStudio: Integrated Development Environment for R. RStudio, PBC, Boston, MA, 2021. URL http://www.rstudio.com/.
Sakagami, S. F., Laroca, S., & Moure, J. S. Wild bee biocoenotics in São José dos Pinhais (PR), South Brasil. Preliminary report. J. Fac. Sci. Hokkaido Univ. *Series VI, Zool.* 16 (2):253-291, 1967.
Silveira da F.A. & Melo, G. A. R., Almeida, E. A. B. *Abelhas brasileiras: sistemática e identificação*. Belo Horizonte. 253 pp, 2002.
Silveira, F. A. & amp; Almeida, E. A. B. Revision of the species of the subgenera of Exomalopsis Spinola, 1853 ocurring in South America. II – Phanomalopsis Michener & Moure, 1957. (Hymenoptera, Apidae). *Lundiana* 9(2):111–153, 2008.
Togo, J., Basualdo, M. A., & Urtubey, N. Aprovechamiento socioeconómico de la flora autóctona de Santiago del Estero (listado de especies y uso popular más frecuente). *Indoamericana*, 3(3), 161 pp, 1990.
Trillo, C., Colantonio, S. & Galetto, L. Perceptions and use of native forests in the arid Chaco of Córdoba, Argentina. *Ethnobotany Research and Applications*, 12, 497-510, 2014.
Tylianakis, J. M., Didham, R. K., Bascompte, J. & Wardle, D. A. Global change and species interactions in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*. 11(12):1351-1363, 2008.
Walker, B., Holling, C. S., Carpenter, S. R. & Kinzig, A. Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecol Soc* 9:5, 2004.

CIENCIAS BÁSICAS DE LA INGENIERÍA



Bioinsumos a partir de extractos de plantas aromáticas

Comelli, Nieves C. [1,2]; Lencina, Sibila I. [1,2], Denett, Gabriel O.[1,2]; Rodríguez, María R.[1,3]; Ortiz, Erlinda V.[3,4]; Romero, Mirta E.[2]; Bistoni, Silvia[2] y Duchowicz, Pablo R.[5]

(1) Centro de Investigaciones y Transferencia de Catamarca (CITCA) – Universidad Nacional de Catamarca – CONICET. Prado N° 366. (4700) Catamarca.
nccomelli@agrarias.unca.edu.ar
(2) Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Catamarca. Avda. Belgrano y Mtro. Quiroga. (4700) Catamarca.
(3) Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas. Universidad Nacional de Catamarca-CONICET. Maximio Victoria 55 (4700) Catamarca.
(4) Instituto de Monitoreo y Control de la Degradación Geoambiental (IMCoDeG) – Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas. Universidad Nacional de Catamarca. Maximio Victoria 55 (4700) Catamarca.
(5) Instituto de Investigaciones Fisicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA), CONICET, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Diag. 113 y 64, C.C. 16, Sucursal 4, 1900 La Plata.

RESUMEN

El uso de materiales derivados de plantas es esencial para la economía y el bienestar de las sociedades contemporáneas. Factores promotores de esta tendencia son: limitada disponibilidad de recursos naturales no renovables para la sostenibilidad de la industria en general, sustentabilidad de la agricultura, la economía rural, nuevas legislaciones y acuerdos internacionales que exigen el uso de materias primas renovables en la industria. Catamarca, por sus condiciones edafoclimáticas, presenta una amplia diversidad de plantas aromáticas y reúne condiciones privilegiadas para un cultivo de calidad y la producción de materiales derivados. Interesados en posicionar a las plantas aromáticas con atributos de utilidad para la sostenibilidad de los sistemas agrícolas provinciales y en desarrollar conocimiento para su aprovechamiento como bioinsumos, en este trabajo se revisa las bases moleculares de sus usos como productos antimicrobianos e insecticidas. Además, se reporta la experiencia de desarrollo de formulaciones a base de extractos de *Cuminum cyminum* L.*, Mentha piperita* L. y *Aloysia polystachya* (Griseb.) Moldenke como sistemas de liberación gradual de principios activos y ensayadas como insecticidas de los coleópteros *Carpophilus dimidiatus* (Fabricius) (Nitidulidae) y *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Silvanidae) que infestan la nuez en áreas rurales de postcosecha en la provincia.

ABSTRACT

The use of plant-derived materials is essential to the economy and well-being of contemporary societies. Promoting factors of this trend are: limited availability of non-renewable natural resources for the sustainability of the industry in general, sustainability of agriculture, the rural economy, new legislation and international agreements that require the use of renewable raw materials in the industry. Catamarca, due to its edaphoclimatic conditions, presents a wide diversity of aromatic plants and meets privileged conditions for quality cultivation and the production of derived materials. Interested in positioning aromatic plants with useful attributes for the sustainability of provincial agricultural systems and in developing knowledge for their use as bio-inputs, this work reviews the molecular bases of their uses as antimicrobial and insecticidal products. In addition, the experience of developing formulations based on extracts of *Cuminum cyminum* L.*, Mentha piperita* L. and *Aloysia polystachya* (Griseb.) Moldenke as gradual release systems of active principles and tested as insecticides of the coleopterans *Carpophilus dimidiatus* (Fabricius) (Nitidulidae) y *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Silvanidae) that infest walnuts in rural postharvest areas in the province.

Palabras claves: Bioinsumos-Plantas aromáticas-*Carpophilus dimidiatus*-*Oryzaephilus surinamensis*

Keywords: Bio-inputs-Aromatic plants-*Carpophilus dimidiatus*-*Oryzaephilus surinamensis*.

1. INTRODUCCION

Las plantas aromáticas son especies vegetales de las que se puede obtener, por algún proceso fisicoquímico, sustancias volátiles de olor y/o sabor determinado como expresa Bandoni (2003). En la actualidad, los extractos de estas especies (i.e. aceites esenciales, concretos, extractos crudos o purificados, resinoides, etc.) son de interés social e industrial según Christaki (2012). La agroindustria de esencias y sabores, la producción orgánicas y el mercado de los alimentos/suplementos dietarios, reposiciona su cultivo e industrialización con oportunidades frente a las siguientes demandas de desarrollo agrícola: i) multifuncionalidad y diversificación de los sistemas agrícolas, ii) la integración de prácticas agrícolas con sistemas productivos de bienes y servicios, iii) uso de nueva generación de sustancias para la nutrición, la salud humana y animal, el control y la protección de plagas y enfermedades de los cultivos, en el cuidado y remediación de problemas ambientales, etc. Carrubba (2009). En la producción agrícola, se denomina bioinsumos a formulaciones elaboradas a partir de productos biológicos derivados de micro y/o macro organismos (bacterias, hongos, artrópodos, extractos de plantas entre otros) destinados a ser aplicados como insumos en la producción agroalimentaria, agroindustrial, agroenergética y en el saneamiento ambiental según Lagler (2017). En este contexto, sustancias derivadas de plantas aromáticas, formadas principalmente por metabolitos secundarios, se definen seguros por su compatibilidad con los sistemas fisiológicos humanos y animales e intervención modificando la funcionalidad de sus órganos/sistemas con repercusión en el cuidado de su salud y bienestar (Makkar, 2007). Desde esta perspectiva, en este trabajo se revisa los aspectos relacionados con las oportunidades de uso de extractos de plantas aromáticas en la producción de bioinsumos y se presenta la experiencia de elaboración de prototipos repelentes e insecticidas para el control de los coleópteros *C. dimidiatus* y *O. surinamensis* como sistemas de liberación gradual de principios activos.

2. PLANTAS AROMÁTICAS DE IMPORTANCIA COMERCIAL.

2.1 Principios Activos

Actualmente se conocen aproximadamente 3000 especies de plantas aromáticas, 300 de los cuales son comercialmente importantes por sus aplicaciones basadas en las propiedades organolépticas (aromatizantes, correctores del sabor), terapéuticas y estética. Sus principios activos son terpenos hidrocarbonados y derivados oxigenados (terpenoides), alcoholes, fenoles, aldehídos, cetonas, ácidos, éteres, ésteres, alcaloides, glucósidos, taninos, saponinas y nutrientes esenciales (vitaminas, minerales, aminoácidos, carbohidratos, fibras, lípidos, antibióticos) según Máthé (2014). Por sus propiedades organolépticas y biológicas, sus aceites esenciales y extractos son requeridos para productos medicinales, cosméticos, preparados herbales y compuestos intermediarios de síntesis. En la literatura internacional, muchas de las sustancias presentes en las plantas aromáticas pueden proteger a células, órganos y sistemas biológicos del daño causado por el estrés oxidativo (actividad antioxidantes y antisépticas), reducir el riesgo de cáncer o enfermedades cardiovasculares, se pueden usar en el tratamiento de enfermedades respiratorias y trastornos estomacales o inflamatorios como antimicrobianos y poseen atributos de utilidad en el control de plagas, enfermedades y arvenses según Christaki (2012) y Arraiza (2017)

2.2 Extractos de plantas aromáticas

Los aceites esenciales, según Bandoni (2003) u Baser (2010), son mezclas liquidas concentradas de compuestos olorosos, volátiles, derivados del metabolismo secundario de especies de las familias Apiaceae, Anacardiaceae, Asteraceae, Cupressaceae, Hypericaceae, Lamiaceae, Lauraceae, Leguminosae, Liliaceae, Malvaceae, Myrtaceae, Oleaceae, Pinaceae, Rosaceae, Rutaceae y Zingiberaceae. Se encuentran en cavidades, ductos secretores o en pelos glandulares de hojas, tallos, corteza, flores, raíces y/o frutas como líquidos de naturaleza lipofílica y viscosa o enlazado con carbohidratos en forma de glicósidos. Cuando los compuestos volátiles no están libres, estos son liberados previa hidrólisis del enlace glicosídico y reacción enzimática que ocurre durante el corte, almacenamiento y/o secado de la planta aromática. El conocimiento de esta particularidad es importante para seleccionar la técnica de extracción para la esencia, pues la hidrólisis previa de tales glicósidos favorecerá el buen rendimiento del aceite esencial.

Los aceites esenciales se pueden obtener por destilación usando agua como agente de extracción (hidrodestilación, destilación por arrastre con vapor, destilación previa maceración con agua, etc.). Sin embargo, en los últimos años se promueve la aplicación de tecnologías extractivas verdes, tales como la extracción asistida por microondas, por ultrasonido y con fl uido supercrítico, para la obtención de mezclas volátiles según Handa (2009). Con ellas es posible manejar un amplio espectro de extractos con diferentes respuestas biológicas.

Los aceites esenciales están formados principalmente

por terpenos hidrocarbonados, derivados oxigenados (mono, sequi, di y triterpenoides) y fenilpropanoides; compuestos provenientes de las vías metabólicas del acetato, del ácido mevalónico y la vía del metileritritol-4-fosfato ó Deoxi-D-xilulosa-5-fosfato según Talapatra (2015). Sobre la composición química de los aceites esenciales, su clasificación en función del contenido presente en cada esencia es importante para determinar sus características organolépticas, calidad y/o sus efectos fisiológicos. Así, se refiere como fracción de compuestos mayoritarios, aquellos que están presentes en la mezcla en una proporción mayor al 1 %, y como minoritarios a las sustancias en concentración menor al 1%. Sobre la importancia de la fracción minoritaria, cabe destacar que en muchos casos las notas olfativas características de un aceite esencial, las aplicaciones industriales o sus efectos fisiológicos están determinadas por sus componentes minoritarios (jazmín, petit grain, rosa, mandarina, naranja, etc.) según Bandoni (2003). Luego, la bioactividad o utilidad de una determinada mezcla aromática es el resultado de la interacción de todos sus constituyentes; compuestos en mayor y menor proporción. Otros constituyentes de tejidos vegetales de plantas aromáticas se obtienen preparando extractos usando solventes de tipo no polar o de polaridad intermedia (éter de petróleo, benceno, cloroformo, éter etílico, etc.) como lo indica Ringuelet (2013). Luego, las muestras son tratadas con solventes de tipo polar (alcoholes como etanol, metanol) y finalmente con agua. Los extractos así obtenidos se denominan: i) extracto etéreo; ii) extracto alcohólico y iii) extracto acuoso. En el extracto etéreo se encuentran los compuestos químicos lipofílicos (materia grasa, esteroles, carotenoides, alcaloides, clorofila, vitaminas liposolubles, aceites esenciales), y en los otros dos extractos, los compuestos hidrofílicos (fenoles, glúcidos simples, glicósidos, alcaloides, vitaminas hidrosolubles, taninos, flavonoides). La identificación de los componentes fitoquímicos de las plantas aromáticas se puede realizar por medio de diversas metodologías analíticas según Baser (2010) y Zhang (2018). Entre las tecnologías disponibles, los métodos cromatográficos son los más relevantes y las técnicas básicas de separación incluyen cromatografía en papel, cromatografía en capa fina, cromatografía en fase gaseosa acoplada a espectrometría de masas (CG-EM) y cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). Frente al espectro de alternativas analíticas, las decisiones sobre cual metodología utilizar, dependerá, entre otros factores, de las propiedades de solubilidad y volatilidad de los compuestos presentes en los extractos.

2.3 Bioactividad y mecanismos de acción de extractos de plantas aromáticas

2.3.1 Actividad Antimicrobiana

La actividad antimicrobiana de derivados de plantas aromáticas no se atribuye solamente a un mecanismo o blanco especifico. La hidrofobicidad de los aceites esenciales facilita la acumulación de sus componentes en la bicapa lipídica de la membrana celular perturbando la permeabilidad y la funcionalidad de sus estructuras celulares, la interrupción del homeostasis celular con inhibición del crecimiento, alteran el quorum sensing bacteriano, intervienen perturbando el sistema celular de síntesis de proteínas y provocan la muerte celular según Burt (2007) y Christaki (2012). Los metabolitos secundarios en aceites esenciales identificados como antimicrobianos naturales y usados para evitar el deterioro de los alimentos y aumentar su vida útil (bioconservantes) son los compuestos fenólicos, Cinamaldehído, Carvacrol, Timol y Eugenol, principalmente.
Aceites esenciales de *Allium sativum*, *Origanum majorana*, *Origanum vulgare*, *Laurus nobilis*, *Rosmarinus officinalis*, *Thymus*, *Ocimum basilicum*, *Curcuma longa* y *Vanilla planifolia*, demostraron actividad de interferencia inhibiendo el quorum sensing de bacterias fitopatógenas y microorganismos patógenos contra el ser humano a muy bajas concentraciones (Szabó, 2010) y Dessaux, 2018). Compuestos presentes en el aceite de *Cinnamomum verum* mostraron efecto inhibitorio en la reproducción de *Bacillus cereus* al interferir en el sistema celular de síntesis de proteínas. Moléculas como Eugenol, Cinamaldehído y Carvacrol, inhiben las enzimas que producen ATP reduciendo los niveles intracelulares del nucleótido. Aceites esenciales de *Origanum vulgare* y *Brassica nigra*, reducen significativamente el pH dentro de las células bacterianas, e interfieren en procesos celulares cruciales (transcripción de ADN, síntesis de proteínas y actividad enzimática) provocando la coagulación del material proteico en el citoplasma

2.3.2 Actividad Insecticida

En interacción con los sistemas fisiológicos de los insectos como tóxicos de contacto, por respiración y por ingesta, los derivados de las plantas aromáticas funcionan a través de múltiples modos de acción como repelentes, insecticidas, antialimentarios, inhibidores del crecimiento y fecundidad, antixenóticos, etc. Como neurotóxicos, los extractos funcionan bloqueando neurotransmisores tales como Acetilcolina, L-glutamato, Ácido γ-aminobutírico, Dopamina, Serotonina, Norepinefrina y Octopamina alterando el metabolismo, la frecuencia cardiaca,

el movimiento y comportamiento del insecto. La carencia de algunos de los receptores mencionados en vertebrados define la acción selectiva de tales derivados sin perturbar el comportamiento y la salud de humanos y otros vertebrados según Moharramipour (2014), Pavela (2016), Regnault-Roger (2012) y Vacante (2018).

Los efectos repelentes, insecticidas, antialimentarios, ovicidas, de inhibición del crecimiento y de oviposición de los aceites esenciales fueron determinados sobre una amplia variedad de insectos (moscas, mosquitos, hormigas, cucarachas, chinches, piojos, polillas, insectos plagas de postcosecha e insectos hematófagos) según Campolo (2018). Los ingredientes activos de los aceites esenciales con propiedades insecticidas son Citronellal, Citronellol, acetato de citronelilo, Terpinen-4-ol, 1,8-Cineol, Limoneno, Carvona, p-Cimeno, α-Terpineol, □-Terpineno, Cuminaldehido, α-Geraniol, Borneol, Mentol, Tuyanol, Terpinen-7-al, Linalool, α-Terpinil acetato, Lippifoli-1(6)-en-5-ona, trans-Anetol, cis-β-Ocimeno, cis-Tagetona, trans-Ocimenona, Verbenona, Alcanfor, Guaiacol, Felandral, entre otros; según Moharramipour (2014), Hikal (2017) y Comelli (2018).

Metabolitos secundarios con actividad citotóxica y efectos controladores contra ácaros, roedores, nematodos, e insectos de los aceites esenciales de ajo (*Allium* sativum), aji (*Capsicum frutescens*), higuerilla (*Ricinus communis*), neem (*Azadirachta indica*) y paraíso (*Melia azedarach*) ha sido aprovechada para la formulación de insecticidas comerciales -firma EcoSMART según Isman (2011)). La presencia de los compuestos Acido Gárlico, Aliina, Alicina, Capsaicina, Ricina, Ricinina y Azadiractina, considerados estrategia defensiva en dichas plantas, proporciona a sus extractos propiedades biocidas de interés para la producción de bioinsumos micro y nanoparticulados.

2.3.3 Nanotecnología. Sistemas de liberación micro y nanoparticulados para extractos de plantas aromáticas

La Nanotecnología es una actividad multidisciplinaria dirigida a la ingeniería y manipulación de objetos hasta 100 nanómetros en tamaños según Prasad (2014). El diseño de nuevas herramientas moleculares (nanopartículas) como sistemas que permiten el transporte y suministro con precisión de muy pequeñas cantidades de sustancias bioactivas, pueden ser utilizadas en la preparación de nuevas formulaciones como antimicrobianos y biocidas de insectos según Athanassiou (2018). Usando polímeros biodegradables de bajo costo como quitosano, alginato o polietilenglicol, un nanoproducto presenta alta penetrabilidad en células y núcleos de objetivos a controlar, por su gran área de superficie especifica. Luego, nanoemulsiones, nanoencapsulados, y nanocajas han demostrado potencial aplicación para mantener y, en ocasiones, aumentar la actividad biológica de productos naturales insecticidas según Bhatia (2016).

Particularmente, las propiedades de estabilidad, permeabilidad, cristalinidad, solubilidad y biodegradabilidad de nanomateriales poliméricos derivados del Polietilenglicol (PEG); un transportador de principios activo en la industria farmacéutica, lo muestran buen candidato para el desarrollo de formulaciones nanopesticidas según Werding González (2014). Dicha matriz polimérica encapsula principios activos reduciendo su reactividad con el ambiente (i.e. agua, luz, oxígeno), controla su difusión o transferencia al medio ambiente, y promueve una distribución uniforme de los principios activos en los productos finales cuando se utilizan en baja concentración.

2.4 *Formulaciones insecticidas a base de aceites esenciales para el control de coleópteros que infestan la nuez en postcosecha*

La producción de nuez en Catamarca presenta problemas fitosanitarios que no encuentran paliativos desde los enfoques convencionales de manejo de plagas. Los coleópteros *Carpophilus dimidiatus (Fabricius)* (Nitidulidae) y *Oryzaephilus surinamensis (L.)* (Silvanidae) son responsables del deterioro de la nuez en sistemas rurales tradicionales de almacenamiento en la provincia de Catamarca. Aceites esenciales de plantas aromáticas, que crecen en zonas aledañas a las áreas tradicionales de nogalicultura en la provincia de Catamarca, poseen actividad insecticida sobre coleópteros de la familia Nitidulidae y Silvanidae (Comelli, 2018).

Interesados en desarrollar pesticidas naturales basados en aceites esenciales capaces de controlar coleópteros de la familia Nitidulidae y Silvanidae, aquí presentamos resultados de la efectividad repelente e insecticida de los aceites esenciales de *C. cyminum* (comino)*, M. piperita* (Menta) y *A. polystachya* (te de burro) y la acción repelente e insecticida de formulados a base de PEG de masa molecular 6000 como sistema microestructurado de liberación gradual de principios activos presentes en los aceites en estudio.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo, los aceites esenciales fueron obtenidos por destilación de una suspensión acuosa del material vegetal aromático, la cual, durante la extracción, se lleva a ebullición y los vapores generados -agua y aceites esenciales- son condensados y colectados en un embudo de decantación (hidrodestilación). Las formulaciones de PEG6000 con los distintos aceites esenciales (PEG-AEs) fueron preparadas usando 5g de PEG 6000 y 625 µL de aceite esencial según método de dispersión por fusión y cristalización indicado en Werding González (2014).

La actividad repelente e insecticida de los aceites esenciales se determinó usando el método de microatmósfera exponiendo insectos a superficies tratadas con soluciones de aceites esenciales a dosis de 0.02-1.6 µl/cm^2 disueltos en acetona según Tapondjou (2005). El diseño experimental empleado para la evaluación biocida de *C. cyminum*, *M. piperita* y *A. polystachya*, contra los insectos *C. dimidiatus* y *O. surinamensis* se resumen en Tablas 1S de material suplementario. La eficacia insecticida de las formulaciones de PEG-AEs se evaluó con olfatómetros de 2 vías según Dal Bello (2006). Estos dispositivos fueron construidos en nuestro laboratorio usando dos envases de vidrio hexagonales de 330 mL de capacidad los cuales son conectados mediante un tubo plástico de 30 x 1 cm de diámetro en los que se abrió una pequeña ventana de 1 x 1 cm para el ingreso de insectos. Para los ensayos, dentro de cada recipiente se colocó 5 g nuez, 0,18 g de nanopartículas cargadas con volátiles conteniendo la concentración de aceite equivalente a la dosis de ensayo 0.6 µl/cm^2 y 20 insectos adultos entre 7 y 14 días de edad.

4. RESULTADOS

Actualmente, las plantas aromáticas de *C. cyminum*, *M. piperita y A. polystachya* se comercializan como productos naturales con mínimo valor agregado (material vegetal fresco, hierbas y especias deshidratadas entera, triturada o pulverizada, solas o en mezclas). Datos de CG-MS de sus aceites esenciales revelan que poseen compuestos activos tales como Limoneno, Carvona, 1,8-Cineol, Mentona, Mentol, β-pineno, p-Cimeno, γ-Terpineno, Cuminaldehido, α-Terpinen-7-al, y γ-Terpinen-7-al, aprovechables como repelentes e insecticidas de los insectos *C. dimidiatus* y *O. surinamensis* segun Comelli (2018).

Datos de bioactividad reunidos para los aceites esenciales en estudio se presentan en las Tablas 1 y 2. Cada dato de bioactividad representa el valor promedio de cinco réplicas y 3 repeticiones ensayadas en oscuridad a 27 ± 5 °C de temperatura y 60-80% de humedad relativa. Para ensayos de repelencia se efectuó el recuento de individuos en la zona de tratamiento a las 2 y 4 horas de efectuados los tratamientos. Por su parte, el porcentaje de mortalidad se registró cada 24 horas durante 5 días.

Tabla 1: Actividad repelente (PR) de los aceites esenciales de *C. cyminum, M. piperita.* y *A. polystachya* contra *C. dimidiatus* y *O. surinamensis*

Aceites esenciales	Dosis	Ensayo Repelencia *C. dimidiatus*	Ensayo Repelencia *O. surinamensis*
C. cyminum	0,6	88,9	82,0
	0,4	77,0	94,0
	0,2	62,0	96,0
	0,1	72,0	92,0
	0,05	73,8	80,0
Promedio PR		74,74	88,80
M. piperita	0,6	94,0	42,1
	0,4	80,7	56,3
	0,2	48,7	68,1
	0,1	52,7	44,0
	0,05	41,3	28,0
Promedio PR		63,48	47,70
A. polystachya	0,6	76,4	45,7
	0,4	68,7	47,5
	0,2	72,0	50,0
	0,1	66,7	60,0
	0,05	56,3	48,4
Promedio PR		68,02	50,32

Tabla 2: Actividad insecticida de los aceites esenciales de *C. cyminum, M. piperita* y *A. polystachya* contra *C. dimidiatus* y *O. surinamensis*

Aceites esenciales	Dosis	Ensayo Toxicidad *C. dimidiatus*	Ensayo Toxicidad *O. surinamensis*
C. cyminum	1,6	100	100
	0,8	100	100
	0,4	100	100
	0,2	100	100
Promedio PM		100	100
M. piperita	1,6	97,23	86,6
	0,8	88,90	63,8
	0,4	58,07	66,5
	0,2	41,00	49,5
Promedio PM		71.3	66.6
A. polystachya	1,6	100	100
	0,8	100	100
	0,4	100	100
	0,2	78,55	100
Promedio PM		94,60	100

Según nuestros resultados, los aceites esenciales ensayados mostraron actividad repelente e insecticida

en el rango entre 47,70 y 88.80 % contra las especies de coleópteros en estudio.Variaciones en datos de actividad repelente con los tratamientos revelan la tendencia general de intensificación de los efectos biocidas con el aumento de la dosis de aceites esencial ensayada. Así, a dosis de 0,6 y 1.6 µl/cm^2 mayores efecto de bioactividad se observa. Luego, pruebas de significación estadística aplicadas para comparar datos de bioactividad promedio de los aceites esenciales contra *C. dimidiatus* y *O. surinamensis* evidencian que se debe aceptar la hipotesis estadistica nula, es decir, no existe diferencias significativas entre tratamientos y comportamiento de insectos en atmósferas con *C. cyminum, M. piperita* y *A. polystachya*. (*Razón-F con valor-P*≥ 0,05 en Tablas 2S.A-B, Material suplementario).

Respecto de la eficacia repelente e insecticida de las formulaciones de PEG 6000 con aceites esenciales de *C. cyminum*, *M. piperita* y *A. polystachya*, (Tabla 3), estas muestran repelencia y mortalidad estadísticamente significativa entre 70 y 100% sin diferencias de susceptibilidad entre las plagas en tratamientos (*Razón-F con valor-P*≥ 0,05 en Tablas 2S.C-D, Material suplementario). Estos resultados indican la presencia cuali y cuantitativa de los constituyentes activos de los aceites en PEG-AEs, su responsabilidad en los efectos repelente e insecticida observados y en la reproducibilidad de las tendencias observadas en las repeticiones y réplicas del diseño experimental implementado.

De la experiencia adquirida, nuevas líneas de trabajo proyectan la evaluación de la dosis de actividad subletal y letal de las formulaciones reportadas, la efectividad de las dosis a escala semicampo y campo en condiciones de postcosecha y el efecto biocida sobre otros insectos plagas hortícolas y enemigos naturales.

Además, investigaciones sobre las propiedades fisicoquímicas de las PEG-AEs tales como: i) cambio en la concentración del principio activo en la formulación con la humedad y la temperatura usando espectrofotometría UV-Vis, ii) morfología y tamaño de las partículas de las nuevas formulaciones con microscopía electrónica y, iii) análisis CG-EM para evaluar diferencia en abundancia de los componentes volatiles entre el aceite libre y el encapsulado generará información que permitirá evaluar la posibilidad de incorporar las formulaciones PEG-AEs en programas de manejo para el control en postcosecha de *C. dimidiatus* y *O. surinamensis* en los sistemas nogaleros de la provincia de Catamarca.

Tabla 3: Actividad repelente e insecticida de PEG-AEs contra *C. dimidiatus* y *O. surinamensis*

PEG-AEs	**Repelencia**	**Toxicidad**			
	Dosis	C. dimidiatus	*O. surinamensis*	*C. dimidiatus*	*O. surinamensis*
C. cyminum	0,6	100,0	100,0	100,0	100,0
M. piperita		80,0	90,0	70,0	90,0
A. polystachya		100,0	100,0	100,0	100,0

5. CONCLUSIONES

Frente al interés mundial por la valoración y consumo de productos naturales no tradicionales; en este trabajo, la investigación documental realizada revisa: i) las bases moleculares del uso de extractos de plantas aromáticas como materia prima en la elaboración de productos antimicrobianos e insecticidas y, ii) las oportunidades que los sistemas micro y nanoparticulados ofrecen a la liberación controlada de moléculas aromáticas funcionales. Sobre lo último, nosotros reportamos la experiencia de desarrollo de formulaciones de PEG6000 a base de los aceites esenciales obtenidos por hidrodestilacion de *C. cyminum*, *M. piperita y A. polystachya*. Tales volátiles fueron identificados como repelentes e insecticidas de *C. dimidiatus* y *O. surinamensis* por estar formados por los principios activos Limoneno, Carvona, 1,8-Cineol, Mentona, Mentol, β-pineno, p-Cimeno, γ-Terpineno, Cuminaldehido, α-Terpinen-7-al, y γ-Terpinen-7-al procedentes de *C. cyminum., M. piperita* y *A. polystachya*. Para el desarrollo de formulaciones insecticidas naturales, los aceites esenciales seleccionados fueron encapsulados por método de fusión-dispersión en PEG6000. La eficacia repelente/insecticida de las formulaciones PEG-AEs en el rango 70-100% permite proyectar más estudios para avalar su incorporación como sistema de control alternativo en programas de manejo de *C. dimidiatus* y *O. surinamensis* en los sistemas nogaleros de la provincia de Catamarca

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen financiamiento al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), a la Secretaria de Investigación y Posgrado de la Universidad Nacional de Catamarca

y al Consejo Federal de Ciencia y Tecnología (COFECyT).

7. REFERENCIAS

Arraiza, M.P., C. Calderón-Guerrero, S.C. Guillén, M.A. Sarmiento. *Medicinal and Aromatic Plants. The Basics of Industrial Application*, Bentham Science Publishers, Dubahi, 2017.

Athanassiou, C. G., N.G. Kavallieratos, G. Benelli, D. Losic, P. Usha Rani, N. Desneux. Nanoparticles for pest control: current status and future perspectives, *Journal* of *Pest Science,* 91: 1–15, 2018.

Bandoni, A.L. *Los recursos vegetales aromáticos en Latinoamerica. Su aprovechamiento industrial para la producción de aromas y sabores.* CYTED. Ciencia y Tecnologia para el desarrollo, Buenos Aires, Argentina, 2003.

Baser, K.H.C., G. Buchbauer, Handbook of essential oils: science, technology, and applications, CRC Press. Taylor & Francis Group United States of America, 2010.

Bhatia, S. *Natural polymer drug delivery systems: Nanoparticles, plants, and algae*, Springer. Switzerland, 2016.

Burt, S. A., *Antibacterial activity of essential oils: potential applications in food*, Utrecht University, Netherlands, 2007.

Campolo, O., G. Giunti, A. Russo, V. Palmeri, L. Zappalá, Essential Oils in Stored Product Insect Pest Control. *Journal of Food Quality,* 2018.

Carrubba, A., C. Catalano, Essential Oil Crops for Sustainable Agriculture – A Review. In *Sustainable Agriculture Reviews: Climate Change, Intercropping, Pest Control and Beneficial Microorganisms,* Lichtfouse, E., Springer Science+Business Media, 2009.

Comelli, N. C., O. E. Romero, P. A. Diez, C. F. Marinho, P. Schliserman, A. Carrizo, E. V. Ortiz, P. R. Duchowicz, QSAR Study of Biologically Active Essential Oils against Beetles Infesting the Walnut in Catamarca, Argentina, *Journal of Agricultural and Food Chemistry,* 66, 48, 12855-12865, 2018.

Christaki, E., E. Bonos, I. Giannenas, P. Florou-Paneri, Aromatic Plants as a Source of Bioactive Compounds. *Agriculture*, 2, 228-243, 2012.

Dal Bello, G., S. Padín, Olfatometro simple para evaluar la actividad biologica de aleloquimicos vegetales en Tribolium castaneum Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae), *Agrociencia*, 2, 23-26, 2006.

Dessaux, Y., D. Faure, Quorum Sensing and Quorum Quenching in Agrobacterium: A Go/No Go System?, *Genes*, 9, 210, 2-11, 2018.

Handa, S. S., S. P. S. Khanuja, G. Longo, D. D. Rakesh, *Extraction Technologies for Medicinal and Aromatic Plants.* International Centre for Science and High Technology, Trieste, Italy, 2009.

Hikal, W. M., R. S. Baeshen and H. A. H. Said-Al Ahl. "Botanical insecticide as simple extractives for pest control." Cogent Biology 3: 1-16, 2017.

Isman, M. B., S. Miresmailli, C. Machial, Commercial opportunities for pesticides based on plant essential oils in agriculture, industry and consumer products. *Phytochem. Rev*,10, 197–204, 2011.

Lagler, J. C. Bioinsumos: Distintas percepciones haciendo foco en la fertilización biológica, *Agronomía & Ambiente,* Revista de la facultad de Agronomia UBA 37, 73-89, 2017.

Makkar, H. P. S., P. Siddhuraju, K. Becker, *Plant Secondary Metabolites,* Humana Press Inc. Springer Science+Business Media, Totowa, New Jersey, 2007.

Máthé, A. *Medicinal and Aromatic Plants of the World. Scientific, Production, Commercial and Utilization Aspects.* Springer Science+Business Media, Netherlands, 2014.

Moharramipour, S., M. Negahban, Plant Essential Oils and Pest Management., in *Basic and Applied Aspects of Biopesticides*, Ed. Sahayaraj, K, Springer, India, 2014.

Pavela, R., G. Benelli, Essential Oils as Ecofriendly Biopesticides? Challenges and Constraints. *Trends in Plant Science*, 21, 1000-1007, 2016**.**

Prasad, R., V. Kumar, K. S. Prasad, Nanotechnology in sustainable agriculture: Present concerns and future aspects. *African Journal of Biotechnology*, 13, 6, 705-713, 2014.

Regnault-Roger, C., C. Vincent, J.T. Arnason, *Essential oils in Insect Control: Low-Risk Products in a High-Stakes World,* Annual Review of Entomology, 57, 405-424, 2012.

Ringuelet, J., S. Viña, *Productos Naturales Vegetales.* Edulp (Editorial Universidad de la Plata), La Plata, Buenos Aires, Argentina, 2013.

Szabó, M. Á., G. Z. Varga, J. Hohmann, Z. Schelz, E. Szegedi, L. Amaral, J. Molnár, Inhibition of Quorum-sensing Signals by Essential Oils, *Phytotherapy Research,* 24, 782–786, 2010.

Talapatra, S. K., B. Talapatra, *Chemistry of Plant Natural Products. Stereochemistry, Conformation, Synthesis, Biology, and Medicine*. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 2015.

Tapondjou, A. L., C. Adlerb, D. A. Fontem, H. Bouda, C. Reichmuth, Bioactivities of cymol and essential oils of Cupressus sempervirens and Eucalyptus saligna against Sitophilus zeamais Motschulsky and Tribolium confusum du Val." *Journal of Stored Products Research*, 41, 91–102, 2005.

Vacante, V., S. Kreiter, *Handbook of Pest Management in Organic Farming.* CABI, London, UK, 2018.

Werdin González, J. O., M. M. Gutiérrez, A.

A. Ferrero, B. Fernández Band, Essential oils nanoformulations for stored-product pest control – Characterization and biological properties, *Chemosphere*, 100, 130–138, 2014.

Zhang, Q.W., L.G. Lin, W.C.Ye, Techniques for extraction and isolation of natural products: a comprehensive review, *Chinese Medicine*, 13, 20, 2-26, 2018.

Dispositivos basados en nanohilos de óxido de cinc como sensores ultravioleta

Villalonga Agüero, Cristian A.1; Simonelli, Gabriela1

(1) Laboratorio de Física del Sólido, Dpto. de Física, INFINOA (CONICET-UNT), Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán.
cristianvillalongaaguero@gmail.com; gsimonelli@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN

En este trabajo se evaluaron dispositivos basados en ZnO nanoestructurado, para utilizarlos en dosímetros UV. Se estudiaron las propiedades fotoconductoras de cinco dispositivos, de los cuales dos fueron íntegramente fabricados para este trabajo, partiendo del crecimiento de nuevas muestras de nanohilos de ZnO. Para todos ellos se utilizó ITO-Glass como sustrato y el método de crecimiento fue el de hidrólisis de sales de cinc en agua. Se realizaron mediciones de corriente en función de la tensión y de resistencia en función del tiempo, bajo diferentes condiciones de iluminación. Se determinaron los parámetros sensibilidad, tiempo de bajada y de subida y receptividad. Todos los dispositivos mostraron variaciones ante cambios en las condiciones de iluminación estudiadas. Los valores de resistencia fueron del orden de los GΩ, MΩ y kΩ, según el dispositivo. Los tiempos de bajada fueron de 5,8 a 119,3 s mientras que los de subida de 19,1 a 232,0 s. Algunos valores de los parámetros obtenidos son del orden de magnitud de los reportados en la literatura, mientras que otros resultan menores, indicando que debería mejorase el desempeño de los sensores.

ABSTRACT

In this work, nanostructured ZnO-based devices were evaluated for UV dosimeters applications. Photoconductive properties of five devices were studied, two of which were entirely fabricated for this work, growing new ZnO nanowires samples. For all of them, ITO-Glass was used as substrate and the growth method was the hydrolysis of zinc salts in water. Voltage-dependent current and time-dependent resistance measurements were performed under different illumination conditions. The parameters sensitivity, rise and falling time and responsivity were determined. All devices showed variations in response to changes on the illumination conditions. Their resistance values were in the order of GΩ, MΩ and kΩ, depending on the device. The falling times ranged from 5.8 to 119.3 s while the rise times ranged from 19.1 to 232.0 s. Some of the parameter´s values obtained are in the order of magnitude of those reported in the literature, while others are lower, indicating that the performance of the sensors should be improved.

Palabras claves: sensores ultravioleta – nanohilos de óxido de cinc – fotoconductividad.

Key words: ultraviolet sensors – zinc oxide nanowires – photoconductivity.

INTRODUCCIÓN

En el espectro electromagnético, la radiación ultravioleta (RUV) se ubica entre los 100 nm y 400 nm. La Comisión Internacional de Iluminación divide el espectro ultravioleta en tres bandas: UVA de 315 a 400 nm, UVB de 280 a 315 nm y UVC de 100 a 280 nm (CIE, 2011). Si bien existe una gran variedad de fuentes artificiales, una fuente natural es la principal fuente de exposición a RUV de las personas: el Sol. En proporción, del total de la radiación solar que alcanza la superficie terrestre, aproximadamente el 5% es UV, de la cual el 95% UVA y el 5% UVB (IARC, 2012). La exposición excesiva al UV puede resultar en efectos adversos en la salud de las personas, principalmente sobre los ojos y la piel. En el corto plazo, el principal efecto que sufre la piel es un eritema actínico, lo que usualmente observamos como bronceado y quemaduras de piel, mientras que a largo plazo, son el envejecimiento prematuro de la piel y diferentes tipos de cáncer de piel (ICNIRP, 2007) (IARC, 2012). El principal desafío para proteger a personas que trabajan al aire libre radica en la falta de control sobre la fuente de RUV. Por ello, el monitoreo de la RUV es necesario para la gestión segura y eficaz de las condiciones de exposición laboral (ICNIRP, 2007). En ese sentido, tanto la Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP, 2004) como la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH, 2019) proponen en sus directrices la misma dosis eritemal máxima para piel desprotegida, 30 $J.m^{-2}$. Entre los diversos instrumentos de medición de la RUV se encuentran los dosímetros. Una parte elemental de estos pueden ser los sensores, dentro de los cuales existe un grupo basado en materiales semiconductores. Entre ellos se encuentra el óxido de cinc, un material semiconductor que intrínsecamente se comporta como tipo n, debido a la presencia de vacancias de oxígeno. La magnitud de su gap (~3,3 eV a 300 K) causa que sus propiedades eléctricas no se modifiquen con la exposición a la luz visible y sean muy sensibles a radiaciones electromagnéticas de longitud de onda menores o iguales 370 nm aproximadamente. Esto se debe a que los fotones con energía mayor a la energía del gap generan pares electrón-hueco que pueden contribuir a la conducción (Wang, 2006) (Morkoç, 2009) (Alaie, 2015) (Vittal, 2017) (Zou, 2020). Experimentos llevados a cabo hasta la fecha en las nanoestructuras de ZnO han demostrado que su fotosensibilidad a la radiación UV está directamente influenciada por la separación de pares electrón-hueco cerca de la superficie de la estructura, teniendo un rol preponderante las vacancias de oxígeno y las moléculas de oxígeno que pueden adsorberse sobre la superficie (Prades, 2008) (Zhai, 2009). El ZnO nanoestructurado puede producirse en diversas morfologías dependiendo de la técnica y parámetros de producción del mismo (Wang, 2004), entre las que se encuentran los nanohilos de ZnO. Estos son preferibles frente a las demás morfologías para utilizarlos como material de un sensor UV por tener una relación superficie-volumen elevada, lo que lleva a una mayor superficie expuesta a la radiación, menor corriente de oscuridad y mayor corriente en iluminación. Además, las nanoestructuras de ZnO presentan una mejor estructura cristalina que materiales en volumen, lo que mejora la movilidad de los electrones dentro de la estructura y facilita su recolección (Shasti, 2017) (Xu,2019). De las propiedades del ZnO, este trabajo se centró en las fotoconductoras, es decir, la variación de su conductividad eléctrica al ser iluminado. Se caracterizó la respuesta fotoconductora de dispositivos, que consisten en nanohilos de ZnO crecidos sobre sustratos transparentes y conductores de óxido de indio y estaño sobre vidrio (ITO-Glass), formando estructuras tipo "sándwich" al enfrentarlos con otro sustrato sin crecimiento (dispositivos asimétricos) u otra muestra con nanohilos crecidos (dispositivos simétricos).

OBJETIVOS

Caracterizar dispositivos basados en nanohilos de ZnO para ser utilizados como sensores en dosímetros UV en ambientes laborales, de tal modo que permitan evaluar el cumplimiento de valores límites de exposición recomendados y utilizarse para prevenir efectos no deseados en la salud.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestras utilizadas

Para la fabricación de dispositivos, se utilizaron muestras de nanohilos de ZnO previamente crecidas por Santillán (2018) para otros fines. En ellas se varió el método de sembrado, pudiendo ser el método de depósito por láser pulsado (PLD) o el método por descomposición térmica de acetato de cinc, al que nos referimos como spin coating, y la presencia de litio como dopante del ZnO. Para el crecimiento de cuatro nuevas muestras idénticas, sin sembrado ni dopaje, se utilizó una solución de nitrato de cinc hexahidratado (99,0% Sigma-Aldrich) y hexametilentetramina (HMTA, 99,0% Sigma-Aldrich), ambos en concentraciones 25 mM en agua bidestilada, y se horneó a 90 °C durante cuatro horas. Todas las muestras tuvieron ITO-Glass como sustrato y se crecieron por método de hidrólisis de sales de cinc en agua, por un tiempo de cuatro horas. Las características de las muestras utilizadas se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Muestras disponibles para diseñar dispositivos y sus características.

Muestra/s	Tipo de Sembrado	Dopaje
C1/C2/C3/ C4	-	-
V4	Spin Coating	-
V1504	PLD a 150 °C	-
V150L4	PLD a 150 °C	2%Li

Dispositivos estudiados

Con las muestras de la Tabla 1 (con la excepción de C2), se fabricaron cinco dispositivos, los cuales se presentan en la Fig. 1. De estos, cuatro fueron asimétricos (VS 3, VS 6, VS 11 y CV 01) y uno simétrico (CV 02).

Medición de propiedades fotoconductoras

Para estudiar las propiedades fotoconductoras de los dispositivos se realizaron mediciones de corriente en función de la tensión (curvas I-V) y de resistencia en función del tiempo (curvas R-t), bajo diferentes condiciones de iluminación. Para ello se utilizó la fuente de tensión programable Agilent modelo 6634B y el voltímetro digital programable marca Keithley modelo 182 Sensitive Digital Voltmeter de 3 mV de rango y 1 nV de resolución (LAFISO, FACET-UNT). Como fuente de radiación UV se utilizó la "Caja de Iluminación UV", que es un instrumento diseñado y fabricado para este trabajo capaz de mantener un dispositivo en oscuridad o iluminado con UV (370 nm) mientras se encuentra conectado a equipos de medición. La irradiancia emitida varía según el valor de una resistencia eléctrica externa conectada y se determinó utilizando un radiómetro IL 1400A con un detector SEL033/UVA/W, ambos marca International Light Inc. Algunos valores equivalentes se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores de interés de Resistencia externa (R_{ext}) e Irradiancia UV emitida (E_e).

$R_{externa}$ [Ω]	E_e [μW.cm^{-2}]
47	1679
100	631
330	135

El circuito de medición implementado fue el esquematizado en la Fig. 2, en el cual DISP es el dispositivo a ensayar, RP una resistencia patrón de 9845 Ω, VCC la fuente de tensión variable y VP es la tensión en RP medida con el voltímetro.

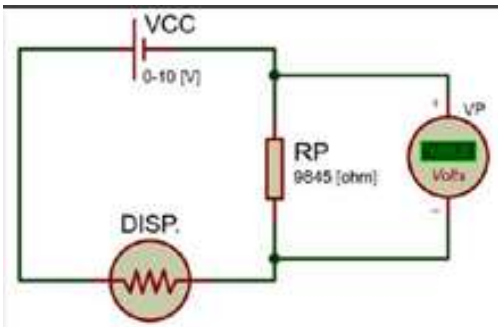


Figura 2. Circuito de medición.

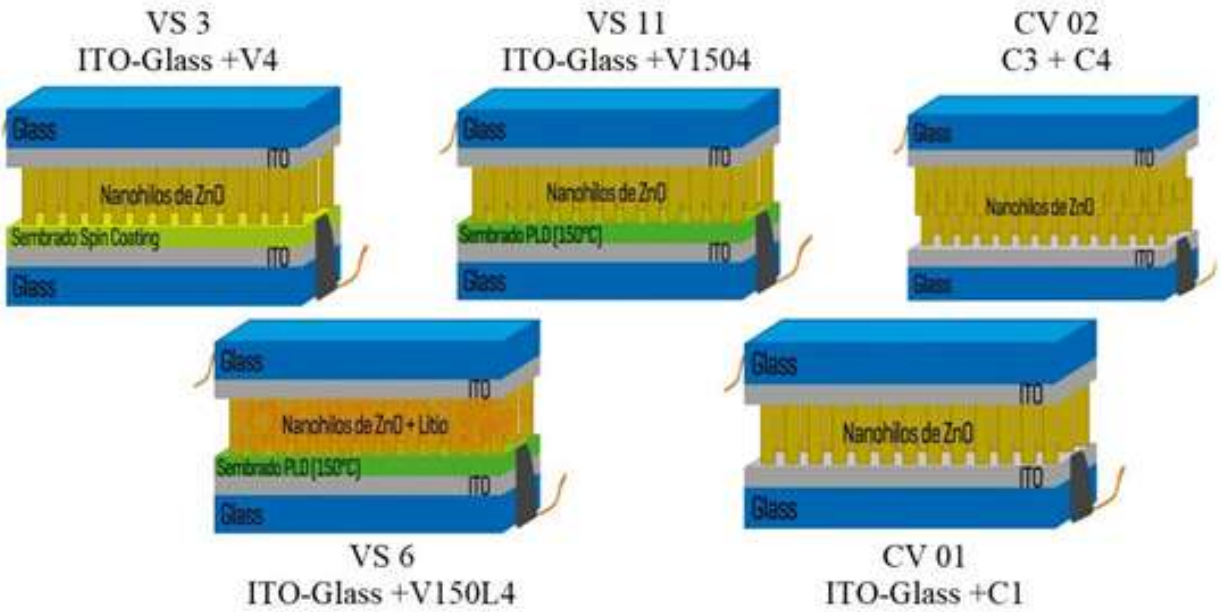


Figura 1. Dispositivos estudiados.

La resistencia eléctrica del dispositivo medida se compone de un conjunto de resistencias en serie dadas por los contactos entre los componentes del dispositivo y las resistencias intrínsecas de los mismos, tal como se esquematiza en la Fig. 3. Para el análisis de los resultados, se consideró que la única dependiente de la condición de iluminación UV fue la resistencia intrínseca del ZnO (R_{ZnO} y $R_{ZnO'}$).

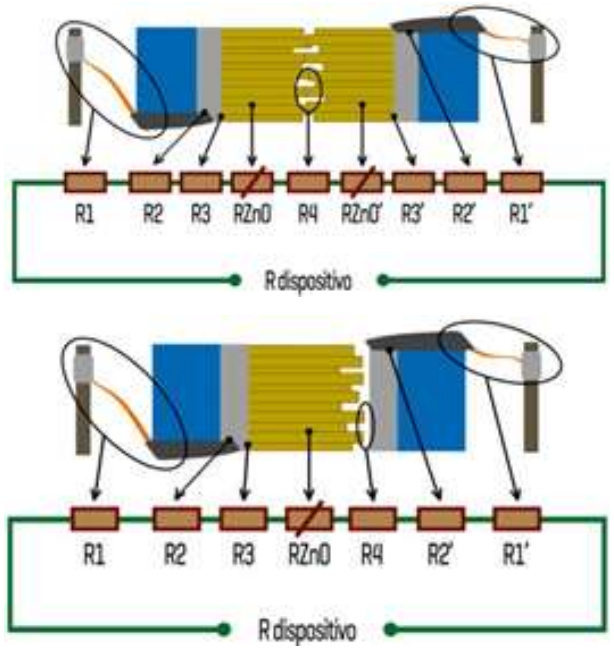


Figura 3. Conjunto de resistencias que conforman la resistencia medida de un dispositivo simétrico (arriba) y asimétrico (abajo).

Curvas I-V

Las curvas I-V de cada dispositivo se midieron en dos condiciones de iluminación:
- Oscuridad, superior a 20 horas.
- Iluminado con E_e de 0,6 mW.cm^{-2}.

Además de las gráficas, se calculó la resistencia eléctrica en el punto de 3 V para los registros creciente y decreciente, R_{3V}, según (1).

$$R_{3V} = \frac{3\ V}{I_{3V}}\ [\Omega] \qquad (1)$$

Curvas R-t

Para las curvas R-t se adoptó una polarización de 3,0 V y la siguiente secuencia de variación de las condiciones de iluminación:

- Oscuridad, luego de más de 20 horas,
- 2 ciclos ON-OFF con E_e de 0,6 mW.cm^{-2}
- 2 ciclos ON-OFF con E_e de 0,1 mW.cm^{-2}
- 2 ciclos ON-OFF con E_e de 1,7 mW.cm^{-2}.

El preprocesamiento de los datos incluyó el cálculo de una curva suavizada y la obtención de una función teórica aproximada. Los parámetros calculados a partir de las curvas R-t fueron:

Tiempo de bajada (t_{ON}) y de subida (t_{OFF}):

definidos como el tiempo transcurrido desde el instante en que se enciende o apaga la RUV y el instante en que el valor de salida alcanza el 10% o 90% de su valor final en régimen estacionario, respectivamente.

Sensibilidad ON u OFF

$$\%S = \frac{R_{\text{final teórica}} - R_{\text{inicial suavizada}}}{R_{\text{inicial suavizada}}} * 100\% \qquad (2)$$

Receptividad ON

$$R_d = \frac{I_{\text{final teórica}} - I_{\text{inicial suavizada}}}{E*A}\ [A.W^{-1}] \qquad (3)$$

donde, $I_{\text{final teórica}} = \frac{3\ V}{(9845 + R_{\text{final teórica}})\ [\Omega]}$ e $I_{\text{inicial suavizada}} = \frac{3\ V}{(9845 + R_{\text{inicial suavizada}})\ [\Omega]}$

En general, es deseable lograr que los tiempos de bajada y subida sean bajos y la sensibilidad y receptividad elevadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Curvas I-V

Las Fig. 4 y 5 muestran las curvas I-V registradas de CV 01 y VS 11, respectivamente. En la Tabla 3 se sintetizan algunos aspectos detectados en las curvas I-V de todos los dispositivos y en la Tabla 4 se presentan los valores de resistencia en el punto de 3 V, del registro creciente y decreciente. En la Tabla 4 se observó que en todos los casos existió una disminución de las resistencias al iluminar con UV, con respecto al caso en oscuridad. Estás variaciones fueron mayores en los dispositivos CV 01 y VS 6 con respecto a VS 3, VS 11 y CV 02, en sintonía con lo que se observó a simple vista en las gráficas y se sintetizó en la Tabla 3.

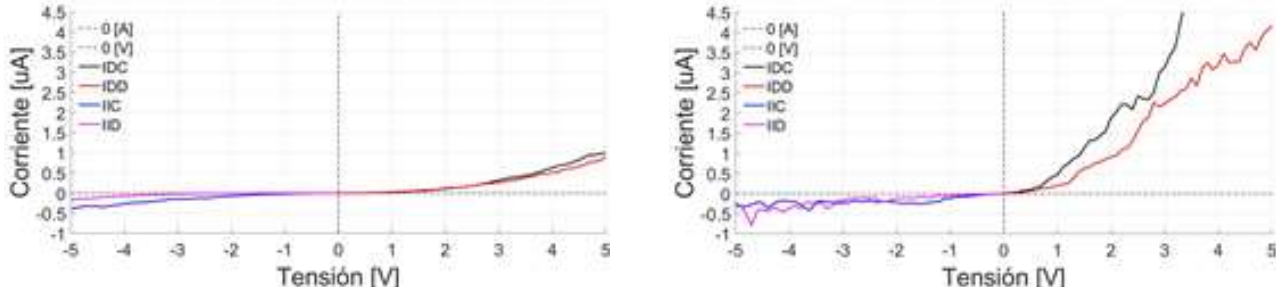


Figura 4. Curvas I-V del dispositivo CV 01 en oscuridad de 22 horas (izquierda) e iluminado con irradiancia UV de 0,6 mW.cm^{-2} (derecha).

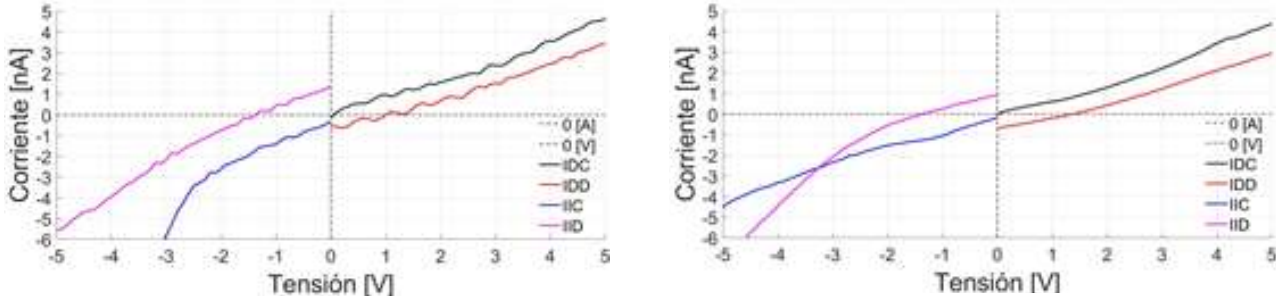


Figura 5. Curvas I-V del dispositivo VS 11 en oscuridad de 20 horas (izquierda) e iluminado con irradiancia UV de 0,6 mW.cm^{-2} (derecha).

Tabla 3. Observaciones realizadas en las curvas I-V.

Dispositivos	VS 6 y CV 01	VS 3, VS 11 y CV 02
Orden de magnitud de corriente	µA	nA
Variación de corriente al iluminar	Fue evidente a simple vista en las mediciones directas	No fue evidente a simple vista
Comportamiento	No lineal	Lineal

Tabla 4. Valores de resistencia en 3 V de las curvas I-V en oscuridad (OFF) e iluminado (ON).

Dispositivo	VS 6 [MΩ]		CV 01 [MΩ]		VS 3 [GΩ]		VS 11 [GΩ]		CV 02 [GΩ]	
Estado UV	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON
R_{3V-C}	443	0,02	532	1,0	1,9	1,1	1,4	1,2	6,0	1,6
R_{3V-D}	2748	1,53	3225	1,4	1,8	1,2	1,7	1,5	4,3	1,5

Curvas R-t

En las curvas R-t de cada dispositivos, VS 6 (Fig. 6), CV 01 (Fig. 7), VS 3 (Fig. 8), VS 11 (Fig. 9) y CV 02 (Fig. 10), se debe considerar que:

- P1: irradiancia UV de 1,7 mW.cm^{-2}
- P2: irradiancia UV de 0,6 mW.cm^{-2}
- P3: irradiancia UV de 0,1 mW.cm^{-2}

En las curvas R-t se observó la secuencia de ciclos ON-OFF preestablecida (primero los dos ciclos con 0,6 mW.cm^{-2}, luego los dos con 0,1 mW.cm^{-2} y los dos con 1,7 mW.cm^{-2}), al notar como la resistencia disminuyó

al encender la radiación UV y aumentó al quitarla. Respecto a la respuesta a los cambios en las condiciones de iluminación, debido a la poca sensibilidad de CV 02 al ser iluminado con 0,6 mW.cm^{-2}, no se lo estudió para irradiancias menores (0,1 mW.cm^{-2}). Con esa salvedad, todos los dispositivos mostraron variaciones en sus resistencias al cambiar las condiciones de iluminación para las irradiancias estudiadas. Además, VS 6 fue el dispositivo con respuesta menos resistiva de los cinco, con valores en el orden de los [kΩ], luego CV 01 con resistencias del orden de los [MΩ] y el resto en los [GΩ]. En algunos dispositivos se detectaron inestabilidades, que no fueron asociados a cambios en las condiciones de iluminación, como ser derivas o disminución/ aumento no esperados en el valor de resistencia.

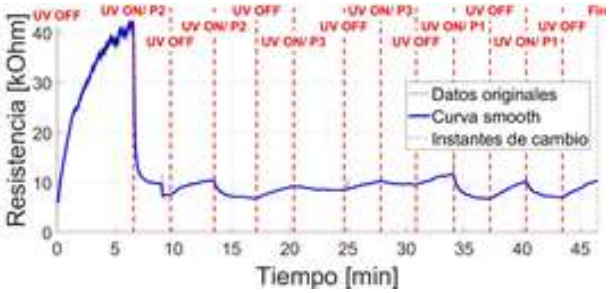


Figura 6. Curva R-t del dispositivo VS 6.

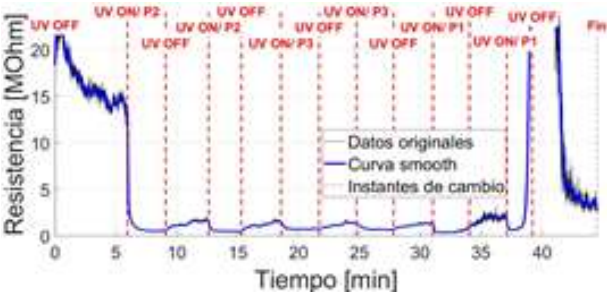


Figura 7. Curva R-t del dispositivo CV 01.

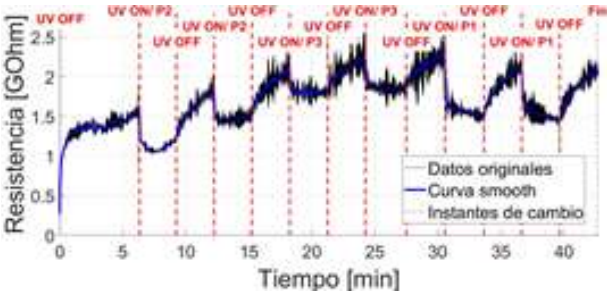


Figura 8. Curva R-t del dispositivo VS 3.

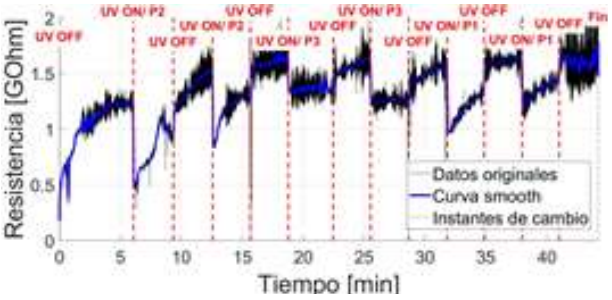


Figura 9. Curva R-t del dispositivo VS 11.

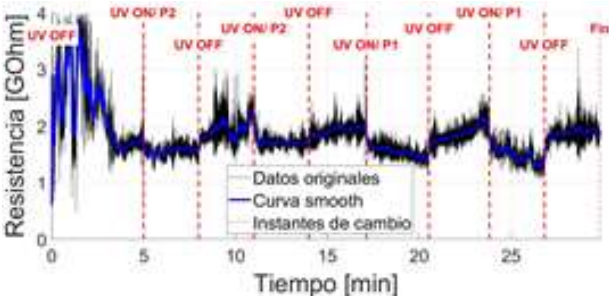


Figura 10. Curva R-t del dispositivo CV 02.

Tiempos de bajada y subida

Tabla 5. Tiempos de bajada.

Dispositivo	$\overline{t_{ON}}$ [s] Transición OFF-ON
VS 11	5,8
VS 3	17,4
CV 01	30,5
CV 02	61,3
VS 6	119,3

Tabla 6. Tiempos de subida.

Dispositivo	$\overline{t_{OFF}}$ [s] Transición ON-OFF
VS 11	19,1
CV 02	89,7
CV 01	139,6
VS 3	149,8
VS 6	232,0

En las Tablas 5 y 6 se presentan los tiempos de bajada, $\overline{t_{ON}}$, y subida, $\overline{t_{OFF}}$, promedio para cada dispositivo, ordenados de menor a mayor. A partir de ellos, se concluyó que VS 11 fue el dispositivo con respuesta más rápida a los cambios en las condiciones de iluminación. Esto posiblemente se debió a una mejor alineación de los nanohilos de la muestra que conforman este dispositivo, producto del sembrado PLD. Por otro lado, VS 6 fue el dispositivo

más lento, posiblemente debido a que el litio presente en las nanoestructuras afectó los mecanismos de generación y recombinación de los portadores, volviendo su respuesta más lenta con respecto a los demás dispositivos que no cuentan con litio.

Sensibilidad y Receptividad

Tabla 7. Sensibilidad de semiciclos iluminados.

Dispositivo	$\overline{\%S_{ON}}$ Transición OFF-ON
CV 01	-62%
VS 11	-36%
VS 6	-25%
VS 3	-24%
CV 02	-19%

Tabla 8. Sensibilidad de semiciclos en oscuridad.

Dispositivo	$\overline{\%S_{OFF}}$ Transición ON-OFF
CV 01	168%
VS 6	37%
VS 3	34%
CV 02	20%
VS 11	18%

Tabla 9. Receptividad en semiciclos iluminados.

Dispositivo	$\overline{R_d}$ [A.W^{-1}]
VS 6	$48{,}6.10^{-3}$
CV 01	$8{,}4.10^{-3}$
VS 11	$3{,}8.10^{-6}$
VS 3	$2{,}0.10^{-6}$
CV 02	$0{,}2.10^{-6}$

En las Tablas 7, 8 y 9 se presentan las sensibilidades promedio de los semiciclos iluminados, $\overline{\%S_{ON}}$, y en oscuridad, $\overline{\%S_{OFF}}$, y las receptividades promedio en los semiciclos iluminados con UV, $\overline{R_d}$ de cada dispositivo, ordenados de mayor a menor. A partir de las sensibilidades de las Tablas 7 y 8, se concluyó que en todos los dispositivos y para todas las irradiancias de iluminación registradas en cada curva R-t:

- Debido a que las $\overline{\%S_{ON}}$ fueron negativas, existió una disminución de los valores de resistencia al encender la radiación UV.
- Debido a que las $\overline{\%S_{OFF}}$ fueron positivas, existió un aumento de los valores de resistencia al quitar la radiación UV.

Estos resultados fueron coherentes y similares a los observados gráficamente en los semiciclos ON y OFF de las curvas R-t (Fig. 6 a 10) y analíticamente en las curvas I-V (Tabla 4). Como en las Tablas 7, 8 y 9 se observó que CV 02 fue el dispositivo con menor sensibilidad promedio y menor receptividad del conjunto de dispositivos, se concluyó que la arquitectura asimétrica es mejor en términos de sensibilidad que la simétrica. Esto posiblemente se deba a que la configuración asimétrica tiene una mejor resistencia de contacto (R4 en la Fig. 3) que la configuración simétrica. De un análisis similar, se detectó que CV 01 fue el dispositivo de mayor sensibilidad y receptividad promedio lo que, sumado al análisis de los tiempos en las Tablas 5 y 6, llevó a la conclusión que fue el dispositivo de mejor desempeño en términos generales.

Comparación de la respuesta de los dispositivos con la bibliografía

La Fig. 11 corresponde recortes de las tablas presentes en los trabajos de Boruah (2019) y Li (2020), en las cuales se resume la fotorrespuesta de diferentes sensores UV basados en ZnO. En ellas se observó que las longitudes de onda pertenecen al UVA, las irradiancias son del orden de las decimas o unidades de [mW.cm-2], las polarizaciones del orden de los voltios y los tiempos se encuentran en el orden de los segundos o algunas decenas de segundos. De esta comparación, se concluyó que:

- La polarización y la longitud de onda emitida son similares a los utilizados en este trabajo.
- Las irradiancias que utilizamos fueron menores, lo que lleva a menores sensibilidades y posiblemente mayores tiempos de respuesta.
- En la receptividad, los valores obtenidos fueron menores a los de la literatura.

En síntesis, algunos valores de los parámetros obtenidos son del orden de magnitud de los reportados en la literatura, mientras que otros resultan menores (o mayores según corresponda), indicando que debería mejorase el desempeño de nuestros sensores.

CONCLUSIONES

En general, los dispositivos fueron resistivos,

posiblemente debido a la arquitectura adoptada, en particular, debido a la resistencia de contacto entre las mitades que forman el dispositivo. A pesar de ello, todos respondieron frente a las variaciones en las condiciones de iluminación estudiadas, siendo CV 01 el de mayor sensibilidad y mejor desempeño en términos generales. Finalmente, los dispositivos asimétricos tuvieron un mejor desempeño en términos de sensibilidad que el dispositivo simétrico. Para mejorar la respuesta de los dispositivos, se propone modificar el contacto sobre los nanohilos, por ejemplo, reemplazando el ITO por un contacto de plata o un polímero conductor.

PD	Bias	UV light	Response time & recovery time	Responsiv
ZnO NWs	1 V	360 nm	2 s &100 s	0.39 A W^{-1}
ZnO NWs	3 V	352 nm	5 s & 100 s	—
ZnO NWs	3 V	310 nm	229 s & 547 s	—
ZnO NRs		325 nm	3.7 s& 63.6 s	—
ZnO NW/graphene foam	5 V	365 nm	9.5 s & 38 s	6 A W^{-1}
ZnO NR/graphene	20 V	370 nm		22.7 A W^{-1}
ZnS/ZnO bilayer film	5 V	350 nm	50 s & 50 s	94 A W^{-1}
ZnO-SnO_2 nanofiber film	10 V	300 nm	32.2 s & 7.8 s	

Photodetector	Bias	Power density	Rise time	Falling time
Single ZnO NMW	2 V	0.32 mW cm^{-2}	1.05 s	0.38 s
ZnO nanofiber	1 V	77.5 μW cm^{-2}	≈100 s	≈50 s
ZnO/CdO nanofiber	1 V	6.54 mW cm^{-2}	≈4 s	≈3 s
ZnO porous nanoparticle	5V	20 μW cm^{-2}	≈250 s	≈150 s
ZnO-SnO_2 nanofibers	10 V	0. 45 mW cm^{-2}	32.2 s	7.8 s
ZnO nanotetrapod network	2.4 V	15–20 mW cm^{-2}	≈67 ms	≈30 ms
ZnO-PbS nanofibers	10 V	7.02 mW cm^{-2}	9 s	2 s
ZnO-Cu nanowire	1 V	0.8 mW cm^{-2}	10.35 s	2 s
Sb-doped ZnO homojunction	3 V	60 mV cm^{-2}	15.2 s	20.3 s
Cu-doped ZnO homojunction	5 V	0.25 mW cm^{-2}	≈50 s	≈200 s
ZnO nanowire/graphene foam	5 V	1.3 mW cm^{-2}	9.5 s	38 s

Figura 11. Resumen de las respuestas de fotodetectores UV convencionales basados en nanoestructuras de ZnO reportados en los trabajos de Boruah (2019) y Li (2020).

AGRADECIMIENTO

Se agradece al Dr. Mario Raitelli por valiosas discusiones y colaboración con la calibración del sistema de iluminación. A la Ing. Victoria Santillán por facilitarnos muestras y dispositivos de su trabajo y al Dr. Germán Bridoux por la colaboración durante el uso y configuración del equipamiento para las mediciones. También se agradece al Consejo Interuniversitario Nacional por haber seleccionado este trabajo dentro de sus becas "Estímulo a las Vocaciones Científicas", convocatoria 2019.

REFERENCIAS

ACGIH, TLVs and BEIs, Signature Publications, Estados Unidos, 152-157, 2019.

Alaie, Z., Nejad, S. M., Yousefi, M. H., Recent advances in ultraviolet photodetectors. *Materials Science in Semiconductor Processing,* 29, 1-36, 2015.

Boruah, B. D, Zinc oxide ultraviolet photodetectors: rapid progress from conventional to self-powered photodetectors, *Nanoscale Advances,* 1, 2059-2085, 2019.

CIE, *CIE S 017/E:2011-ILV: Vocabulario Internacional de Iluminación*, Austria, 2011.

IARC, IARC Monographs on the evaluation of carcenogenic risk to humans: A review of human carcinogens, *Solar and Ultraviolet Radiation*, 100D, 35-90, Francia, 2012.

ICNIRP, Guidelines on limits exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm. *Health Physics,* 87, 171-186, 2004.

ICNIRP, Protecting Workers from Ultaviolet Radiation. *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*, 2007.

Li, H., Zhao, L., Meng, J., Pan, C., Zhang, Y., Zhang, Y., Li, Z., Triboelectric-polarization-enhanced high sensitive ZnO UV sensor. *Nano Today*, 33, 100873, 2020.

Morkoç, H., Özgür, Ü., Zinc oxide: fundamentals, materials and device technology, *Wiley-VCH*, 2009.

Prades, J. D., Hernandez-Ramirez, F., Jimenez-Diaz, R., Manzanares, M., Andreu, T., Cirera, A., Morante, J. R., The effects of electron–hole separation on the photoconductivity of individual metal oxide nanowires. *Nanotechnology*, 19, 2008.

Santillán, V. E., Nanoestructuras de ZnO sobre sustratos flexibles: Crecimiento y evaluación de propiedades piezoeléctricas, *Proyecto de Graduación-FACET-UNT*, 2018.

Shasti, M., Dariani, R. S., Study of growth time and post annealing effect on the performance of ZnO nanorods ultraviolet photodetector. *Journal of Applied Physics*, 121, 064503, 2017.

Vittal, R., Ho, K. C., Zinc oxide based dye-sensitized solar cells: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 920-935, 2017.

Wang, Z. L., Zinc oxide nanostructures: growth, properties and applications. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 16, 829-858, 2004.

Wang, Z., Song, J., Piezoelectric Nanogenerators Based on Zinc Oxide Nanowire Arrays. *Science,* 312, 242-246, 2006.

Xu, Q., Cheng, L., Meng, L., Wang, Z., Bai, S., Tian, X., Flexible Self-Powered ZnO Film UV Sensor with a High Response. *Applied Materials & Interfaces,* 11, 20127-26133, 2019.

Zhai, T., Fang, X., Liao, M., Xu, X., Zeng, H., Yoshio, B., Golberg, D., A Comprehensive Review of One-Dimensional Metal-Oxide Nanostructure Photodetectors. *Sensors,* 9, 6504-6529, 2009.

Zou, W., Sastry, M., Gooding, J. J., Ramanathan, R., Bansal, V. Recent advances and a roadmap to wearable UV sensor technologies, *Advanced Materials Technologies*, *5*(4), 1901036 (1-31), 2020.

CIENCIA DE LA TIERRA



Análisis comparativo de modelos hidrodinámicos 2D para la simulación del comportamiento de ríos meandriformes. Río Dulce en "La Dormida". Santiago del Estero

Alvarez Padilla, Juan Cruz[1]; Cortez, Federico[1]; Borsellino, Lucio[1]; Estrada Lapalma, Juan Carlos[1]; Prieto Villarroya, Jorge[1,2]; Farias, Hector Daniel[1].

(1) Instituto de Recursos Hídricos. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero.
irhi.fceyt.unse@gmail.com
(2) Instituto de Estudios Ambientales y Desarrollo Rural de la Llanura Chaqueña, Universidad Nacional de Santiago del Estero.

RESUMEN

Se presentan los resultados preliminares de simulaciones hidrodinámicas en un tramo de un río de llanura con un patrón planimétrico meandriforme (Río Dulce en la zona de "La Dormida", Santiago del Estero). El estudio constituye la etapa inicial de una serie de investigaciones conducentes a la modelación morfodinámica de ríos aluviales, para analizar condiciones de estabilidad fluvial que ayuden a optimizar el emplazamiento de obras de ingeniería en el ambiente fluvial. Los resultados obtenidos hasta el presente muestran que los modelos numéricos aplicados (en este caso HEC-RAS e IBER) constituyen herramientas efectivas para el análisis detallado de la estructura cinemática del flujo en este tipo de ríos con meandros. Esta es una condición necesaria para la posterior aplicación de los módulos de transporte de sedimentos, erosiones de márgenes y migraciones del curso fluvial. A partir de la evaluación de los resultados obtenidos, se ha podido establecer que la calidad y cantidad de la información topográfica y batimétrica de base resulta altamente significativa en la representatividad de los procesos hidráulicos tales como distribución lateral de velocidades y corrientes secundarias, por lo que es necesario aplicar algoritmos eficientes para refinar la generación de la geometría del cauce con un alto grado de detalle.

ABSTRACT

Preliminary results of hydrodynamic simulations in a reach of a plain meandering river (Río Dulce near "La Dormida" area, Santiago del Estero) are presented herein. The study constitutes the initial stage of a series of investigations leading to the morphodynamic modeling of alluvial rivers, to analyze fluvial stability conditions that lead to optimize the location of engineering works in the fluvial environment. The results obtained show that the applied numerical models (in this case HEC-RAS and IBER) constitute effective tools for the detailed analysis of the kinematic structure of the flow in this type of meandering rivers. This is a necessary condition for the subsequent application of the sediment transport, bank erosions and river course migrations modules of the selected packages. From the evaluation of the results obtained, it has been possible to establish that the quality and quantity of the base topographic and bathymetric information is highly significant in the representativeness of hydraulic processes such as lateral distribution of velocities and secondary currents. Thus, it is necessary to apply efficient algorithms to refine the generation of the channel geometry with a high degree of detail.

Palabras claves: Ríos de Llanura - Modelación Hidráulica - Morfología Fluvial - Meandros -

Keywords: Alluvial Rivers - Hydraulic Modeling – Fluvial Morphology - Meandering

1. INTRODUCCIÓN

Los ríos de llanura, que en general discurren sobre depósitos de material aluvial fino en planicies aluviales, poseen pendientes suaves, y exhiben patrones de alineamiento planimétrico con presencia de meandros. Esta configuración generalmente muestra tendencias evolutivas muy marcadas, expresadas a través de procesos de migración (lateral y longitudinal) del curso fluvial (Farias et al., 2011), a lo largo y ancho de la planicie de inundación, lo cual dificulta la tarea de adopción de sitios de emplazamiento adecuados para la implantación de obras de ingeniería (tomas, caminos, puentes, etc.).

Desde el punto de vista hidrodinámico, también se plantean desafíos en la caracterización del flujo, debido a la fuerte tridimensionalidad del flujo en los segmentos curvos. Aunque ya se puede acometer el problema con la ayuda de modelos numéricos 3D (CFD), una alternativa práctica y accesible es el uso de modelos 2D (integrados en vertical), ya que se puede analizar la estructura cinemática del flujo con un grado aceptable de representatividad. Este es el enfoque adoptado en esta investigación para estudiar los patrones de comportamiento de un tramo de río aluvial fuertemente meandriforme.

2. OBJETIVOS

El objetivo general fue la caracterización hidrodinámica y fluviomorfológica de un tramo meandriforme del Río Dulce, de un alto interés práctico, por las obras de ingeniería que se ven afectadas en ese sector. Entre los objetivos específicos se destacan: la realización de una serie de estudios técnicos, relativos a hidrología, hidráulica, morfología fluvial, procesos de erosión y sedimentación, con la finalidad de caracterizar el comportamiento morfo-dinámico del curso, para encontrar productos que ayuden a la toma de decisión en relación a una jerarquización de las alternativas de obras de control de erosión-sedimentación y protección de márgenes en el sector, fuertemente afectado por procesos evolutivos de desplazamientos y migraciones laterales, que están generando serios inconvenientes en el funcionamiento de las tomas del Sistema de Canales Menores, ubicadas en el área de estudio.

Descripción de la problemática. El tramo en consideración del Río Dulce, en el segmento situado aguas arriba de la Ruta Provincial No. 18, que conecta las localidades de Loreto y Brea Pozo (provincia de Santiago del Estero), exhibe una dinámica fluvial muy evolutiva. En efecto, el sinuoso patrón de alineamiento en planta se caracteriza por recurrentes procesos de migración lateral y longitudinal, cuya frecuencia se incrementa progresivamente hacia aguas abajo, por efecto de la disminución de pendiente de energía asociada al remanso inducido por la presencia del Puente "La Dormida", y por los condicionantes geológicos naturales de la planicie fluvial en ese sector (Figura 1).

Este comportamiento del río ocasiona una serie de inconvenientes en la operación y mantenimiento de las obras de ingeniería implantadas en proximidades (entorno inmediato, tanto en cauce como en planicie inundable) del río Dulce. Muchas de esas obras se emplazan prácticamente dentro de la "faja de divagación" del cauce activo dentro de la planicie aluvial, con lo que se generan recurrentes eventos



Figura 1: Ubicación del Área de Estudio: Río Dulce en la del Puente de "La Dormida" (Santiago del Estero).

de afectaciones locales y ocasionales colapsos de algunas de ellas, y salidas de operación funcional en otras. Entre las obras afectadas se pueden mencionar obras viales (la propia R.P. 18, cuyo trazado se ve frecuentemente afectado por los desplazamientos laterales del cauce activo) y obras hidráulicas (tomas libres y aducciones a los canales del sistema de "Canales Menores" que se encuentran en ese sector).

En el caso de la Ruta Provincial No. 18 (en adelante, RP18) se han observado en años recientes eventos de cortes ocasionados por los procesos de erosión de márgenes asociados a las migraciones del curso del Río Dulce. Asimismo, el puente ubicado al final del tramo meandro presenta también problemas estructurales, muchos de ellos atribuibles a los procesos de erosión que se generan durante las crecidas del Río Dulce.

Con respecto a las obras de toma de los canales que forman parte del "Sistema de Canales Menores (SCM)", se destacan entre ellos los canales Cancinos, Pinto, del Alto y Plato Pakishka, que derivan desde las márgenes del Río Dulce para abastecer agua con fines múltiples a varias localidades de los departamentos Robles, San Martín y Sarmiento.

Como puede apreciarse (Fig. 1) se trata de un tramo del Río Dulce de elevada sinuosidad (Domínguez el al, 2012), con una pendiente del curso principal del orden de $3x10^{-4}$. En ese sector, el río se comporta como un típico curso de llanura, desarrollando una amplia planicie aluvial, principalmente definida a través de la faja de divagación de meandros de gran amplitud. El caudal medio anual se ubica en el orden de 98 m^3/s, mientras que el caudal dominante, estimado con los métodos de Komura y Schaffernack (Farias, 2005) resulta del orden de 300 m^3/s. El ancho del cauce activo, para nivel correspondiente al umbral de desborde (bankfull) varía entre 180 m y 310 m, con una media del orden de 200 m. En cuanto al sedimento fluvial, el material de lecho es una arena media del orden de 300 micrones, mientras en la planicie aluvial predominan las arenas finas con alto contenido de limos.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Tal como se indicó, en esta etapa de los estudios se llevaron cabo modelaciones en el dominio de análisis usando una serie de modelos numéricos 2D seleccionados en virtud de sus capacidades para estimar las estructuras de flujo, en especial en las zonas de curvas, y poder evaluar su desempeño mostrado en la representación de los campos de velocidades y otras variables hidráulicas de interés para posteriores cálculos morfo-dinámicos.

La mayor parte de los modelos 2D se basan en las Ecuaciones de Saint-Venant, que se escriben:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hU_x}{\partial x} + \frac{\partial hU_y}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(hU_x) + \frac{\partial}{\partial x}\left(hU_x^2 + g\frac{h^2}{2}\right) + \frac{\partial}{\partial y}(hU_xU_y) = -gh\frac{\partial Z_b}{\partial x} + \frac{\tau_{s,x}}{\rho} - \frac{\tau_{b,x}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\nu_t h\frac{\partial U_x}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\nu_t h\frac{\partial U_x}{\partial y}\right)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(hU_y) + \frac{\partial}{\partial x}(hU_xU_y) + \frac{\partial}{\partial y}\left(hU_y^2 + g\frac{h^2}{2}\right) = -gh\frac{\partial Z_b}{\partial y} + \frac{\tau_{s,y}}{\rho} - \frac{\tau_{b,y}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\nu_t h\frac{\partial U_y}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\nu_t h\frac{\partial U_y}{\partial y}\right)$$

donde h es el tirante, U_x , U_y son las velocidades horizontales promediadas en profundidad, g es la aceleración de la gravedad, ρ es la densidad del agua, Z_b es la cota del lecho, τ_s es la fricción en la superficie libre debida al efecto del viento, τ_b es la tensión de corte en el lecho y ν_t es la viscosidad turbulenta. La fricción de fondo se evalúa mediante una fórmula de resistencia al flujo (en general la de Manning).

A los efectos del análisis del tramo de río que se ha seleccionado para los análisis hidráulicos, se seleccionaron en primera instancia los modelos IBER, iRIC y HEC-RAS 2D. A continuación se presenta una breve descripción de las ventajas, limitaciones y capacidades de cada uno de ellos.

Modelo IBER

El paquete IBER (Bladé et al., 2014) combina un módulo hidrodinámico, un módulo de turbulencia y un módulo de transporte de sedimentos, y utiliza el método de volúmenes finitos para resolver las ecuaciones correspondientes. Al módulo de cálculo se le ha adaptado una interfaz que se basa en el software de pre-proceso y pos-proceso GiD, desarrollado por Centro Internacional de Métodos Numéricos en la Ingeniería CIMNE. El resultado es una herramienta de modelización numérica del flujo de agua y sedimentos en ríos y estuarios, que utiliza esquemas numéricos avanzados especialmente estables y robustos en cualquier situación, pero especialmente adecuados para flujos discontinuos y, en concreto, para cauces torrenciales y regímenes irregulares. Algunos de los campos de aplicación de la versión actual de IBER son:

- Simulación del flujo en lámina libre en cauces naturales.
- Evaluación de zonas inundables. Cálculo de las zonas de flujo preferente.
- Cálculo hidráulico de encauzamientos.

• Cálculo hidráulico de redes de canales en lámina libre.

• Cálculo de corrientes de marea en estuarios.

• Estabilidad de los sedimentos del lecho.

• Procesos de erosión y sedimentación por transporte de material granular.

El módulo hidrodinámico de Iber resuelve las ecuaciones de St. Venant bidimensionales, incorporando los efectos de la turbulencia y rozamiento superficial por viento.

Las ecuaciones de aguas someras se resuelven mediante el método de volúmenes finitos para mallas bidimensionales no estructuradas. La discretización del dominio espacial se realiza con volúmenes finitos en mallas no estructuradas, admitiéndose estas en formato mixto, formadas por elementos triangulares y cuadrangulares.

Modelo iRIC

La International River Interface Cooperative (iRIC) comenzó como una herramienta de análisis de flujo de ríos y morfodinámica (Shimizu et al., 2019), pero ahora se ha expandido para tratar un conjunto mucho más amplio de problemas que incluyen predicciones de inundaciones, procesos lluvia-escorrentía, propagación de tsunamis, flujos de escombros, evaluación de hábitat y más.

iRIC reconoce el tipo de datos y selecciona automáticamente el algoritmo apropiado para producir la cuadrícula que requiere un "solver". Luego se puede iniciar el procesamiento y monitorear el estado de la simulación usando consola de Solver. Finalmente, se pueden visualizar los resultados del cálculo utilizando una ventana de pos-procesamiento 2D y 3D. Con estos resultados se puede hacer una gráfica en un sistema de ejes coordenados para su posterior análisis y post-procesamiento.

Elección de "solvers" para procesamiento:

• Mflow: Cálculo del flujo no permanenente bidimensional y variación del lecho del rio mediante mallas no estructuradas del método de elementos finitos en el sistema de coordenadas ortogonales.

• SRM: Cálculo de escorrentía mediante modelos de enrutamiento del almacenamiento.

• Ceri1D: Cálculo del flujo no permanente 1D en los ríos. El modelo se puede utilizar para calcular variables relacionadas con el flujo del río.

• DHABSIM: Cálculo de la condición de hábitat de un río a pequeña escala.

• Elimo: Elaboración de estimaciones fiables de generación de tsunamis, propagación y evolución de costas en un entorno.

• EvaTRiP: Herramienta de evaluación para la planificación ambiental del río.

• FaSTMECH: Análisis de la variación de flujo de ríos del lecho del río. Emplea un sistema de coordenadas cilíndricas.

• Nays1D: Cálculo del flujo de canales abiertos 1D estables e inestables de deformación del lecho del río.

• Nays2D Flood: Análisis de inundaciones utilizando coordenadas ajustadas al límite como las coordenadas curvilíneas generales.

• Nays2DH: Modelo computacional para simular el flujo horizontal 2D, transporte de sedimentos, cambios morfológicos del lecho y márgenes.

• NaysCUBE: Cálculo del flujo no permanente 3D en cauces y deformaciones del lecho fluvial.

• NaysEddy: Cálculo de flujo no permanente 3D utilizando coordenadas cartesianas.

• River2D: Modelo hidrodinámico de elementos finitos.

• SToRM: Emplea mallas no estructuradas en sus sistemas de guías y puede proporcionar un análisis adecuado, incluso bajo condiciones de borde complejas.

El paquete ofrece una oportunidad de manejo como software libre, y por su estructura de pre-proceso, post-proceso y solucionador (solver), es sencillo de comprender y puede interactuar con herramientas SIG. El software tiene ventajas en cuanto a la variedad de sus funciones y "solvers", ya que cada uno de ellos puede ser óptimo para trabajar con un caso específico. Para ello, es necesario tener en cuenta todos los pasos y requerimientos a seguir para que la simulación sea lo más aproximada posible.

Modelo HEC RAS

Las capacidades de HEC-RAS (USACE, 2016) se han desarrollado para permitir al usuario realizar modelaciones 2D ó 1D/2D combinadas. El algoritmo de modelación de flujo 2D en HEC-RAS tiene las siguientes capacidades:

• Puede realizar modelado 1D, 2D y combinado 1D/2D: Esto permite al usuario trabajar con sistemas fluviales de mayor escala, utilizando 1D cuando se requiera y modelado 2D en lugares donde se intente obtener un mayor nivel de detalle hidrodinámico.

• Ecuaciones de onda de difusión o de Saint-Venant en 2D: El programa resuelve cualquiera de estas dos, otorgando flexibilidad de elección al usuario. Las

ecuaciones de onda difusiva permiten que el software procese más rápido, mientras que las de Saint-Venant se apican a un rango mayor de problemas.

• Algoritmo implícito de solución de volúmenes finitos.

• Algoritmo de solución acoplada 1D y 2D.

• Mallas computacionales estructuradas o no estructuradas.

• Propiedades detalladas de la tabla hidráulica para celdas computacionales 2D y caras de celda.

• Mapeo detallado de inundaciones y animaciones de inundaciones.

• Algoritmo de solución basado en multi-procesamiento (computación en paralelo).

Existen muchas situaciones en las que resulta muy debatible la precisión relevante de un enfoque de modelación 1D ó 2D para una aplicación específica. En sus últimas versiones (5.x en adelante) el modelo resuelve las ecuaciones de Saint Venant completas, tanto en una o dos dimensiones.

El insumo esencial para las modelaciones está constituido por el modelo digital de elevaciones (DEM) del dominio de análisis. En ese sentido, en el contexto del presente estudio se conformó un DEM combinado a partir de varias fuentes, al estilo de lo planeado en algunas fuentes bibliográficas (e.g., Domeneghetti, 2016). En esencia, para la fracción del dominio en la zona de la planicie aluvial se usaron DEMs basados en datos altimétricos obtenidos con técnicas de percepción remota (e.g., STRM), mientras que para la representación del cauce principal se procedió a la inclusión de perfiles topográficos y batimétricos que se pudieron disponer a partir de relevamientos con técnicas convencionales de topografía terrestre. Puesto que en el primer caso de dispone de una "nube de puntos" que contiene datos (X,Y,Z) y en el segundo el formato básico se compone de secciones transversales colectadas a lo largo del curso fluvial, se aplicó un procedimiento de "acoplamiento artesanal" de las secciones transversales (interpoladas) con el DEM base para generar las mallas requeridas por los módulos de pre-procesamiento de los modelos usados. Se planea en futuras etapas de avance de los estudios aplicar metodologías sistemáticas recientemente desarrolladas para la gestión de este tipo de información plani-altimétrica de fuentes diversas (e.g., Caviedes-Voullième et al. 2014; Bures et al 2019). El primero de ellos está basado en un algoritmo para generar la información faltante para las áreas entre secciones transversales. El algoritmo permite generar un lecho de río que conserva importantes características morfológicas como meandros y trayectoria de taludes. En el segundo caso (Bures et al., 2019) se usa un nuevo modelo batimétrico teórico (Bathy-supp), que se basa en curvas analíticas para representar esquemáticamente las secciones transversales del río. La forma de las curvas analíticas está determinada por la topografía de la llanura aluvial.

La estrategia de modelación inicial, aplicada en modo predictivo, estuvo basada en la simulación de la hidrodinámica y estructura del flujo asociadas a las condiciones de caudal dominante, que se estima como un indicador aceptable del caudal formativo del cauce. Para ello, se aplicaron como condiciones de borde relaciones altura-caudal (previamente estimadas con un modelo 1D para el campo lejano), que se verificaron a través de observaciones en una escala aceptable basada en estudios previos. Los resultados obtenidos se presentan en la sección siguiente.

4. EVALUACIÓN DE RESULTADOS

En la fase de desarrollo actual de los estudios, se han obtenido resultados iniciales aplicando los modelos antes descriptos para evaluar las propiedades hidrodinámicas del flujo asociadas a las condiciones de caudal dominante en el tramo de estudio, el cual se ha estimado en $Q=300 m^3/s$.

A continuación se presentan los resultados obtenidos con los paquetes IBER y HECRAS, mientras que las simulaciones con iRIC se encuentran en fase de desarrollo.

En la Figura 2 se presenta el campo de velocidades obtenido con HEC-RAS para todo el tramo simulado. Puede observarse que, debido probablemente a las incertidumbres asociadas a la estimación del caudal dominante (que para un río de estas características debería ser comparable al caudal de desborde, o "bankfull"), se observan pequeños desbordes hacia margen derecha en el primer segmento antes del ingreso a la curva inicial (ángulo superior derecho en la Fig. 2). Debe mencionarse que en el sector también se localizan unos vestigios de una antigua obra de toma del Canal Pinto, con unas excavaciones de una aducción que promueve la afluencia de los flujos de desbordes hacia esa zona. También se observan otros pequeños desbordes, pero sin importancia significativa en relación a los objetivos de las modelaciones.

Un aspecto que resulta importante de apreciar es que el modelo logró capturar adecuadamente el efecto de remanso generado hacia aguas arriba por la presencia

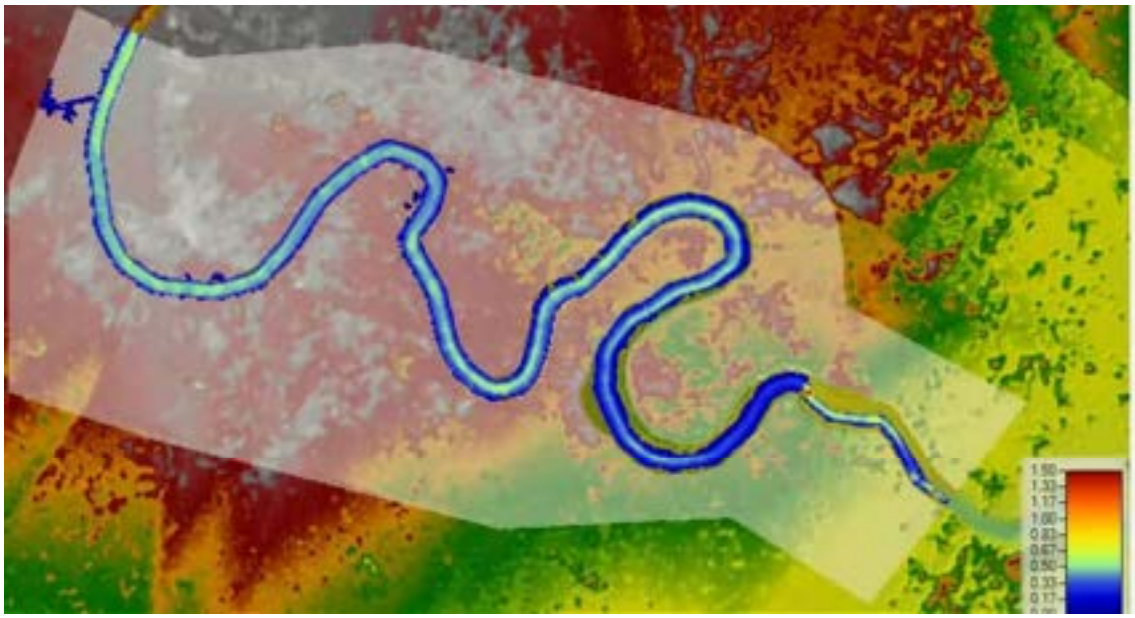


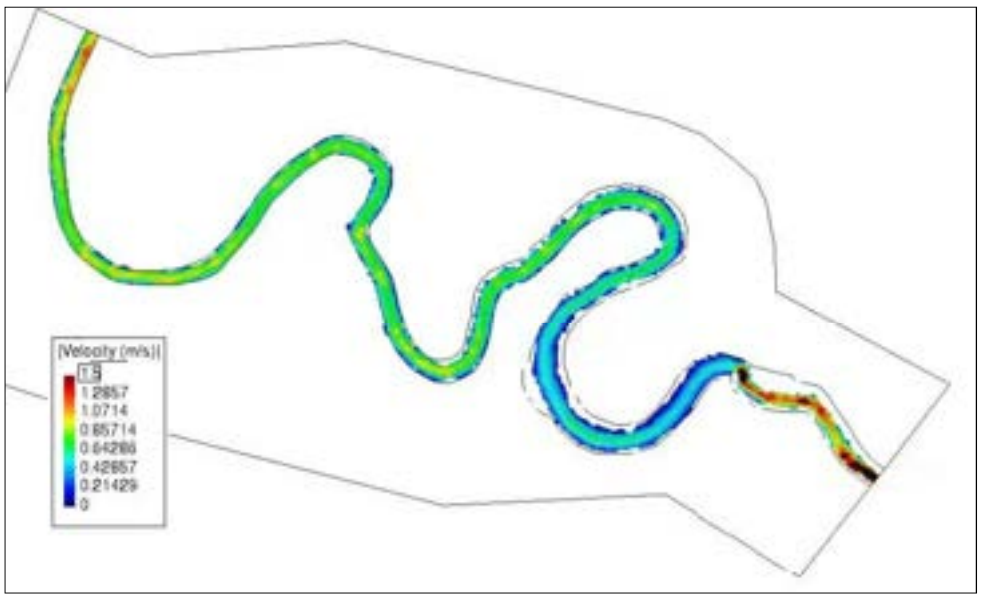
Figura 2: Modelación del tramo con HECRAS 5.1. Mapa de campo de velocidades para caudal dominante.

del puente ubicado sobre RP18 en la localidad de "La Dormida", el cual representa un estrechamiento significativo del ancho del cauce activo. En efecto, las velocidades medias (del orden de 0.6 m/s) en el tramo de aproximación al puente se van reduciendo en forma progresiva, hasta valores cercanos a los 0.4 m/s en la sección de aguas arriba del puente, con una apreciable aceleración al pasar por la sección contraída del puente, alcanzando valores superiores a 1.4 m/s.

En la Figura 3 se muestran los resultados de campo de velocidades simulados con IBER para la totalidad del tramo. Se puede observar que los resultados resultan a grandes rasgos similares, aunque en este caso no se producen desbordes de flujo en ninguna sección a lo largo del tramo.

Nuevamente, en el caso de IBER, el modelo también logró representar satisfactoriamente el efecto de remanso en el tramo de aproximación al puente, como así también las importantes aceleraciones que se generan en el segmento cuasi-rectilíneo ubicado inmediatamente aguas abajo del mismo. En ese sentido, las velocidades simuladas con IBER aguas abajo resultaron significativamente mayores a las obtenidas con HEC-RAS.

A los efectos de la evaluación detallada de los campos de velocidades y de profundidades del flujo, en las



Figuras 4 y 5, respectivamente, se presentan los resultados obtenidos con HEC-RAS para la segunda curva del tramo. Esta curva tiene un especial interés, porque al final de la misma, en la zona de "quiebre" (cerca del punto de inflexión entre la segunda y tercera curva) se ubica una importante toma libre que abastece al canal de aducción hacia la toma del Canal del Alto. Este canal es de singular importancia para el sector de actividades productivas que se desarrollan al sur del área de estudio.

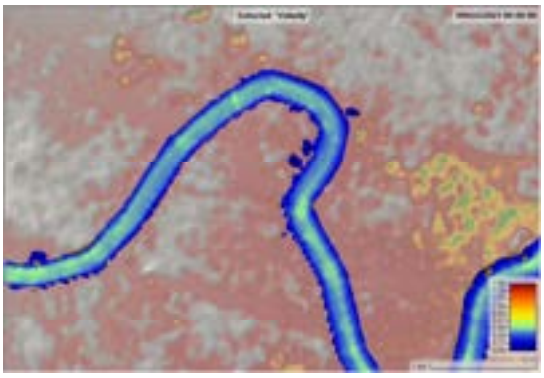


Figura 4: Resultados de HECRAS. Campo detallado de velocidades medias en un segmento.

Como se observa en la Figura 4, se presentan desbordes incipientes, que ya habían sido advertidos en la representación del dominio total (Fig. 2). En cuanto a la distribución lateral de las velocidades, puede advertirse que el modelo indica la presencia de un tubo de corriente central a lo largo del segmento, en el que se ubican los filetes de mayor velocidad, con algunas pequeñas deformaciones y tendencia a recostarse sobre los laterales en las zonas de mayor curvatura, aunque sin mostrar de manera apreciable la concentración de velocidades máximas sobre los sectores externos de las curvas, aspecto que se ha podido observar en los relevamientos de campo.

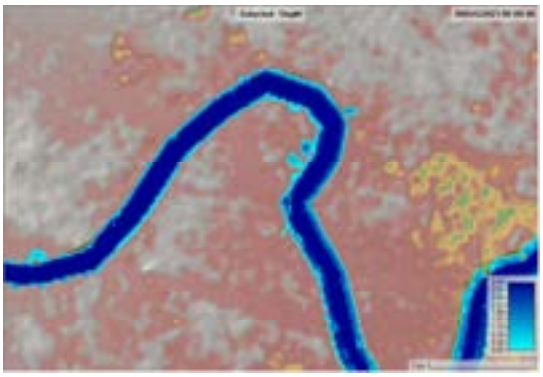


Figura 5: Resultados de HECRAS. Campo detallado de profundidades del flujo en un segmento.

Esta situación en un principio resulta atribuible a una cantidad insuficiente de puntos para una adecuada definición de la geometría hidráulica detallada de las secciones transversales en esos sectores de curva. Se está trabajando en un refinamiento de ese aspecto, basado en una nueva campaña de recolección de datos de campo, complementada con la aplicación de técnicas de interpolación más eficientes, como las aplicadas en los trabajos previamente citados (Caviedes-Voullième et al. 2014; Domeneghetti, 2016; Bures et al 2019). Esta situación también afecta lo atinente a las profundidades del flujo (Figura 5). En las Figuras 6 y 7 se presentan los resultados obtenidos con IBER, con resultados muy similares a las simulaciones con HEC-RAS.

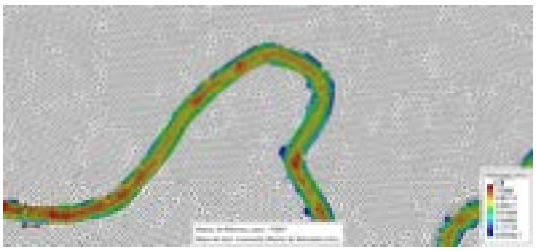


Figura 6: Resultados de IBER. Campo detallado de velocidades medias en un segmento.

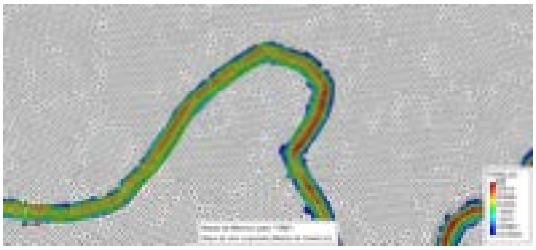


Figura 7: Resultados de IBER. Campo detallado de profundidades del flujo en un segmento.

5. CONCLUSIONES

Se han llevado a cabo simulaciones numéricas del comportamiento hidrodinámico de un tramo de un río meandriforme, como etapa inicial de estudios conducentes a la modelación morfodinámica para analizar condiciones de estabilidad fluvial para decidir la implantación de obras. Los resultados preliminares obtenidos indican que los modelos seleccionados (en este caso HEC-RAS e IBER) constituyen herramientas efectivas para el análisis detallado de la estructura cinemática del flujo, como condición previa a la aplicación de los módulos de transporte de sedimentos y erosiones. Sin embargo, se ha podido establecer que la calidad y cantidad de la información topográfica de base juega un rol preponderante en la representatividad de los procesos hidráulicos.

6. REFERENCIAS

Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, E., Dolz, J., Coll, A. (2014). Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería, Vol.30, No.1, pp 1-10, UPC, Barcelona, España. DOI: 10.1016/j.rimni.2012.07.004.

Bures, L.; , Sychova, P.; Maca, P.; Roub, R. & Marval, S. (2019). "River Bathymetry Model Based on Floodplain Topography". Water 2019, 11, 1287; doi:10.3390/w11061287

Caviedes-Voullième, D.; Morales-Hernández, M.; López-Marijuan, I. & García-Navarro, P. (2014). "Reconstruction of 2D river beds by appropriate interpolation of 1D cross-sectional information for flood simulation". Environmental Modelling & Software, Vol.61, pp. 206-228. doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.07.016

Domeneghetti, A. (2016), On the use of SRTM and altimetry data for flood modeling in data-sparse regions, Water Resour. Res., 52, 2901–2918, doi:10.1002/2015WR017967.

Dominguez Ruben, L.G.; Farias, H.D.; Prieto Villarroya, J. & Muratore, F. (2012). "Análisis de Procesos de Migración Lateral en Cauces de Llanura de Argentina. Caso de un Tramo del Río Dulce". VIII Jornadas CODINOA, Tucumán, Argentina. [ISSN: 1853-7871]

Farias, H.D. (2005). "Análisis del Concepto de Caudal Dominante en Ríos Aluviales y Evaluación de Metodologías de Cálculo". Segundo Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos, ISBN 987-20109-4-3 (CD-ROM) & 987-20109-5-1 (libro). Neuquén, Argentina.

Farias, H.D., Dominguez Ruben, L.G., Reuter, A.F. (2011). “Migraciones del Curso y Forma en Planta observadas en Ríos Meandriformes de varias regiones argentinas”. V Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos, Santiago del Estero, Argentina.

Shimizu, Y.; Nelson, J.; Arnez Ferrel, K.; Asahi, K.; Giri, S.; Inoue, T.; Iwasaki, T.; Jang, C.L.; Kang, T.; Kimura, I.; Kyuka, T.; Mishra, J.; Nabi, M.; Patsinghasanee, S. & Yamaguchi, S. (2019). “Advances in Computational Morphodynamics Using the International River Interface Cooperative (iRIC) Software”. Earth Surface Processes and Landforms. 45. 10.1002/esp.4653.

USACE (U.S. Army Corps of Engineers) – Hydrologic Engineering Center (2016). HEC-RAS: River Analysis System - 2D MODELING User’s Manual. Vicksburg, MS, USA.

Aplicación geodésica de TanDEM-X 90 m en Santiago del Estero.

Galván, Lucrecia[1]; Infante, Claudia[1]; Duro, Javier[1] y Orieta, Jorge[1].

(1) Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero. galvanlucrecia@gmail.com

RESUMEN

El objetivo general del presente trabajo es estudiar y analizar el comportamiento del Modelo Digital de Elevación (DEM) global TanDEM-X 90 m de la misión satelital compuesta por el satélite TerraSAR-X (Synthetic Aperture Radar) y su satélite gemelo TanDEM-X (TerraSAR-X add-on for Digital Elevation Measurement) de la Agencia Espacial DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt). La motivación del presente estudio es que, los DEM globales contribuyen a analizar, modelar y comprender los procesos de las geociencias condicionados por el relieve a nivel global. La metodología usada consiste en comparar las alturas del DEM con las alturas de la Red POSGAR 07 (Posiciones Geodésicas Argentinas) del IGN (Instituto Geográfico Nacional). La zona de estudio es la provincia de Santiago del Estero. Como resultado de la aplicación de la metodología, se han estimado los errores provenientes de las diferencias de alturas entre TanDEM-X 90 m y las alturas de la red geodésica. El RMS obtenido para el DEM es de: 1,36 m. Se presentan los estadísticos de los resultados y la distribución espacial de los mismos para la zona de estudio, como así también las conclusiones del trabajo.

ABSTRACT

The general objective of this work is to study and analyze the behavior of the global TanDEM-X 90 m Digital Elevation Model (DEM) of the satellite mission composed of the TerraSAR-X satellite (Synthetic Aperture Radar) and its twin satellite TanDEM- X (TerraSAR-X add-on for Digital Elevation Measurement) from the DLR Space Agency (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt). The motivation of this study is that global DEMs contribute to analyze, model, and understand the processes of geosciences conditioned by the relief at a global level. The methodology used consists of comparing the heights of the DEM with the heights of the POSGAR 07 Network (Argentine Geodesic Positions) of the IGN (National Geographic Institute). The study area is the province of Santiago del Estero. As a result of the application of the methodology, the errors from the differences in heights between TanDEM-X 90 m and the heights of the geodetic network have been estimated. The RMS obtained for the DEM is: 1.36 m. The statistics of the results and their spatial distribution for the study area are presented, as well as the conclusions of the work.

Palabras claves: (DEM – TanDEM-X – SAR – POSGAR 07)

Keywords: (DEM – TanDEM-X – SAR – POSGAR 07)

1. INTRODUCCION

1.1 *Introducción*

El conocimiento de las alturas es fundamental en diversas aplicaciones de las ciencias de la Tierra. Desde el análisis de relieves para obras de ingeniería a correcciones gravimétricas con interés geofísico, la necesidad de contar con alturas confiables representa una condición básica.

Sin embargo, el problema es conceptualmente profundo y es necesario distinguir entre diferentes tipos de alturas de carácter geométrico y físico. Por ejemplo, la información altimétrica inducida de los sistemas de satélites GNSS (Global Navigation Satellite System), no es suficiente para la mayoría de las aplicaciones que comprometen el escurrimiento de fluidos y otras magnitudes de la física terrestre. Pero si esa información se combina con un modelo de geoide compatible, es posible obtener alturas físicamente significativas (Galván, 2014).

Desde septiembre de 2016 el nuevo TanDEM-X puede considerarse como uno de los DEM más consistentes, altamente precisos y completo conjunto de datos globales de la superficie de la Tierra. Este nuevo producto jugará un papel importante en una amplia gama de diversas aplicaciones regionales y globales que analizan aspectos físicos, biológicos y procesos de la superficie terrestre (Wessel et al., 2018).

Los modelos de elevaciones globales basados en interferometría de radar de apertura sintética, como TanDEM-X DEM 90 m, representan una fuente accesible y relevante para disponer de alturas sobre el elipsoide WGS84 (World Geodetic System). Pero las precisiones son realmente variables sobre diferentes regiones del planeta. Por ello, en este trabajo se propone avanzar en el manejo de estos modelos y en el análisis de su comportamiento en la provincia de Santiago del Estero, Argentina.

1.2 *Objetivo general y específicos*

El objetivo general de este trabajo es analizar el comportamiento del modelo de elevación digital TanDEM-X DEM 90 m para la provincia de Santiago del Estero. Los objetivos específicos son adquirir conocimiento en el acceso, manejo y procesamiento de datos del DEM y de los EGM (Earth Gravitational Models) provistos por organismos internacionales, como así también se analizan y aplican datos geodésicos de alta precisión provenientes de la Red POSGAR 07 (IGN) para la provincia de Santiago del Estero.

2. MATERIALES Y METODOS

1.1 *Zona de estudio*

Para el desarrollo del presente trabajo se estudia una zona comprendida entre las latitudes de 25°30’ S y 30° S y las longitudes de 61°30’ O y 65° O, abarcando gran parte de la provincia de Santiago del Estero. La misma se caracteriza por la presencia de extensas llanuras, y zonas de serranías hacia el noroeste, el oeste y el suroeste de la provincia, además de otras zonas con características particulares que se describen en este trabajo.

1.2 *Descripción de la misión satelital y del DEM TanDEM-X.*

La información de altura se obtuvo aplicando la Interferometría de radar de apertura sintética (InSAR) de una sola pasada. Los correspondientes pares de imágenes fueron adquiridos por los satélites gemelos TerraSAR-X y TanDEM-X, que vuelan en una formación de hélice cerrada con distancias entre 300 y 500 m entre sí. Ver Fig. 1.

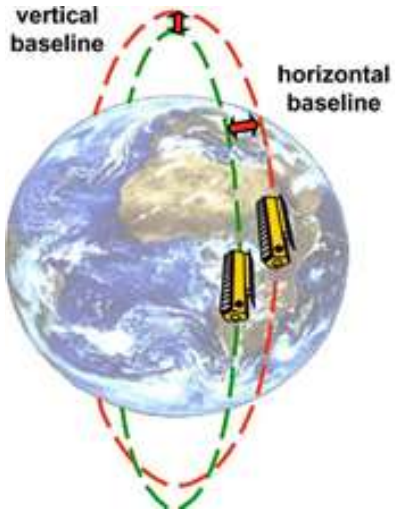


Figura 1: Formación hélice satelital para TanDEM-X.

La Figura 2 muestra las líneas de base transversales y radiales en función del argumento de la latitud. Las posiciones de latitud corresponden a una órbita completa.

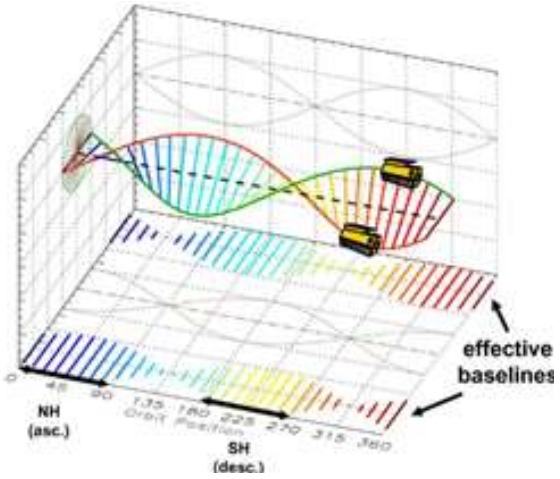


Figura 2: Órbitas completas TanDEM-X.

La adquisición de datos interferométricos con la formación de satélites TanDEM-X se logra mediante operaciones biestática, monostática y biestática alterna (ver Fig. 3). El modo biestático usa uno de los satélites como transmisor para iluminar una huella de radar común en la superficie de la Tierra. La señal dispersada es luego registrada por ambos satélites simultáneamente. (Krieger et al., 2014; Wessell et al., 2016).

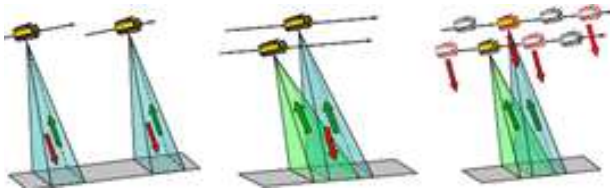


Figura 3: Modos de adquisición de datos para TanDEM-X: modo de búsqueda monoestático (izquierda), modo biestático (medio) y modo biestático alterno (derecha).

Aunque la interferometría SAR es muy adecuada para mapear globalmente la superficie de la Tierra en un corto período de tiempo, debido a su capacidad de observación "día y noche" y "todo clima", la altura medida corresponde a la superficie reflectante de la señal de la banda X. En general, el modelo de altura TanDEM-X se puede considerar principalmente como un DSM (Digital Surface Model) en lugar de un DTM (Digital Terrain Model). Sin embargo, existen algunas excepciones para áreas donde la señal SAR penetra en la superficie por algunos metros, p. ej. en caso de hielo, nieve o vegetación. En consecuencia, el término general DEM, que comprende cualquier tipo de modelo de elevación, es el más adecuado para el TanDEM-X DEM. Este producto está disponible para usuarios científicos en el Centro Aeroespacial Alemán (DLR, marzo 2018). Wessel et al., 2018.

En la Tabla 1 se especifican las características generales de la misión TanDEM-X.

Tabla 1. Especificaciones de la misión TanDEM-X

Satélites	TanDEM-X y TerraSAR-X
Fecha lanzamiento	TanDEM-X (2010) y TerraSAR-X (2007)
Duración misión (días)	2007 a 2015
Orbita	Helicoidal
Separación entre satélites	120 a 500 m
Ancho de pasada	30 km
Altura nominal	514 km
Inclinación orbital	97.4°

En la Tabla 2 se muestra un resumen de la información del producto DEM TanDEM-X 90 m.

Tabla 2. Especificaciones del producto TanDEM-X DEM.

Cobertura	90° N a 90° S
Banda	X
Técnica	InSAR
Resolución horizontal	90 m
Sistema de referencia horizontal.	WGS84
Sistema de referencia vertical.	WGS84
Mosaico	1º x 1º
Celdas	3600 x 3600
Error de altura absoluta vertical.	< 10 m
Error de geolocalización absoluta circular.	< 10 m
El error de altura relativa.	No está specificado

Para más información consultar a Krieger et al., 2007; Wessell et al., 2016, entre otros, como así también el sitio web: https://geoservice.dlr.de/web/dataguide/tdm90/.

1.3 *Red Geodésica POSGAR 07 (IGN)*

La red POSGAR 07 es el Marco de Referencia Geodésico Nacional del IGN de la República Argentina. La red está referida a ITRF 05 (International Terrestrial Reference Frame) Época

2006.632 compatible con SIRGAS (Sistema de Referencia Geodésico para las Américas) y responde a estándares de precisión y ajuste en vigencia (± 0,005 m). (IGN). La provincia de Santiago del Estero cuenta con 81 puntos de la red POSGAR 07. Ver Fig. 7 y 8.

1.3 *Métodos*

La metodología aplicada en el presente trabajo utiliza diferentes tipos de alturas de puntos situados sobre la superficie terrestre. Si la superficie de referencia depende de la gravedad, las alturas son físicas. En caso contrario son alturas geométricas.

Si se establece la posición de un punto P por medio de las coordenadas naturales o astronómicas Φ, Λ y H, se puede proyectar sobre el geoide a lo largo de la línea (ligeramente curvada) de la plomada, la altura ortométrica H (ver Fig. 4). La altura ortométrica es la distancia entre el punto P sobre la superficie terrestre y su proyección P_0 sobre el geoide, medida a lo largo de la línea de la plomada. Aunque este modo de proyección es completamente natural, el geoide no es adecuado para realizar cálculos directamente en él, por lo tanto, el punto P_0, se proyecta sobre el elipsoide de referencia, por medio de la normal al elipsoide, obteniendo así un punto Q_0. De esta manera, el punto de la superficie terrestre P y el punto Q_0 correspondiente en el elipsoide están conectados por una proyección doble, es decir, por dos proyecciones que se desempeñan una a continuación de la otra y que son la altura ortométrica $H = PP_0$ y la altura del geoide sobre el elipsoide $N = P_0Q_0$. Esta doble proyección se llama proyección de Pizzetti.

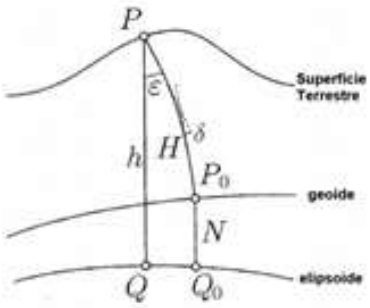


Figura 3. La proyección de Helmert y de Pizzeti. (Hofmann-Wellenhof & Moritz, 2006).

Es más sencillo proyectar el punto P de la superficie topográfica directamente sobre el elipsoide a través de la normal elipsoidal, obteniendo así un punto Q. La distancia $PQ = h$ es la altura sobre el elipsoide. El punto P sobre la superficie terrestre es determinado por la altura elipsoidal h y las coordenadas elipsoidales de Q sobre el elipsoide, de modo que, las coordenadas elipsoidales ϕ, λ y h toman el lugar de las coordenadas naturales Φ, Λ y H. Esta es la proyección de Helmert. La diferencia práctica entre las proyecciones de Pizzeti y de Helmert es pequeña (Hofmann-Wellenhof & Moritz, 2006). La ecuación (1) es una aproximación en la que se desprecia el efecto de la desviación de la vertical y relaciona a la altura elipsoidal h con la altura ortométrica H, a través de la altura geoidal N (Hofmann-Wellenhof & Moritz, 2006).

$$h = H + N \quad (1)$$

La altura geoidal se obtiene, para la zona de estudio, mediante el servicio basado en web para calcular diferentes funciones de los modelos de campo de gravedad terrestre y que además entre otras aplicaciones recopila y archiva todos los modelos de campos de gravedad globales existentes, entre otros. ICGEM (International Centre for Global Earth Models), coordinado por el IGFS (International Gravity Field Service) de la IAG (International Association of Geodesy). http://icgem.gfz-potsdam.de/home. Estos cálculos permiten expresar el DEM TanDEM-X en términos de alturas físicas.

Se comparan las alturas de los DEM con las alturas de la red POSGAR 07. Se considera que la precisión de las coordenadas POSGAR 07 satisfacen el requisito de precisión en las posiciones (Felicísimo, 1994; Wessel, 2018). Los Sistemas de referencia horizontal de los conjuntos de datos se consideran consistentes para realizar la comparación. En relación con las superficies de referencia de las alturas, el modelo TanDEM-X DEM tiene sus coordenadas y alturas expresadas respecto del elipsoide de revolución WGS84, por lo que se comparan las alturas elipsoidales del mismo con las alturas elipsoidales POSGAR 07. (Wessel, 2018)

A continuación, se comparan las alturas elipsoidales del DEM con las alturas elipsoidales de los puntos POSGAR 07, usando la ecuación (2) (Felicísimo, 1994).

$$d^h = h^{TanDEM\text{-}X} - h^{POSGAR07} \quad (2)$$

En donde d^h es la diferencia de alturas o error; $h^{TanDEM\text{-}X}$ es la altura elipsoidal del DEM; $h^{POSGAR07}$ es la altura elipsoidal de los puntos POSGAR 07.

Con la finalidad de analizar el comportamiento de la componente aleatoria de los DEM en la zona de trabajo se aplican los estadísticos: valor máximo, el valor mínimo, el promedio o EM (Error Medio) y el ECM (Error cuadrático medio) o RMS (Root Mean Square) (Wessel, 2018). También se aplica la desviación estándar (σ) que es una medida de dispersión de los errores con respecto al valor promedio, como otro indicador de la precisión vertical del DEM (Rodríguez et al., 2005; Galván,

2014).

4. RESULTADOS

Se calcularon los errores para 71 puntos de la red POSGAR 07 y sus homólogos en el DEM, obteniendo los resultados en la Tabla 3, aplicando la ecuación (2). Del total de puntos POSGAR 07 disponibles para la provincia, no se han tenido en cuenta los puntos correspondientes a las estaciones permanentes, debido a que los instrumentos GPS se encuentran estacionados sobre las terrazas de los edificios gubernamentales, las alturas de las antenas no están publicadas, etc. Los restantes puntos se encuentran al oeste de la provincia, en lugares fuera de los mosaicos procesados.

Tabla 3. Estadísticos de los errores.

Estadísticos (m)	TanDEM-X DEM
Promedio	0,07
Máximo	2,34
Mínimo	-6,87
σ	1,37
RMS	1,36

Se observa en la tabla 3 que TanDEM-X DEM presenta un promedio de 7 cm, este valor de error en promedio es pequeño. El RMS para TanDEM-X DEM es de 1,36 m lo que pone de manifiesto que los errores grandes son escasos. Con respecto a la desviación estándar, TanDEM_X, presentan un valor de 1,37 m.

Se ha calculado el histograma de frecuencia para visualizar la distribución de los errores. La Fig. 5 muestra el histograma de frecuencia correspondiente a TanDEM-X DEM, se observa que, la mayor cantidad de puntos se encuentra en el intervalo [0 m; -1 m]. La mayor cantidad de los puntos analizados se encuentran entre los intervalos positivos. También se revela la presencia de puntos fuera de la distribución. La variable podría ser modelada como una distribución log-normal.

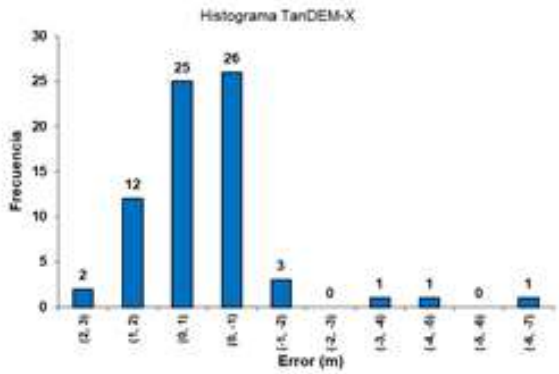


Figura 5. Histograma de frecuencia para TanDEM-X DEM.

La Fig. 6 muestra la dispersión de los errores respecto del promedio. En color azul se presentan los errores entre el modelo TanDEM-X y las alturas de la red geodésica. El conjunto de errores muestra escasa dispersión en general, respecto del promedio, salvo la presencia de algunos errores excesivos.

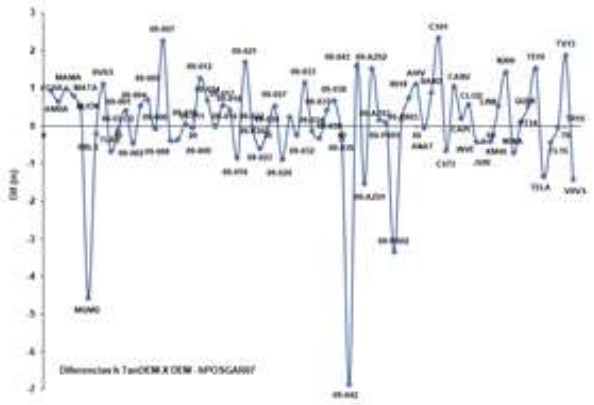


Figura 6. Diagrama de dispersión de los errores entre el modelo TanDEM-X DEM y las alturas POSGAR 07.

A continuación, se presentan los mapas de diferencias que muestran la distribución geoespacial de los errores en ubicación y magnitud.

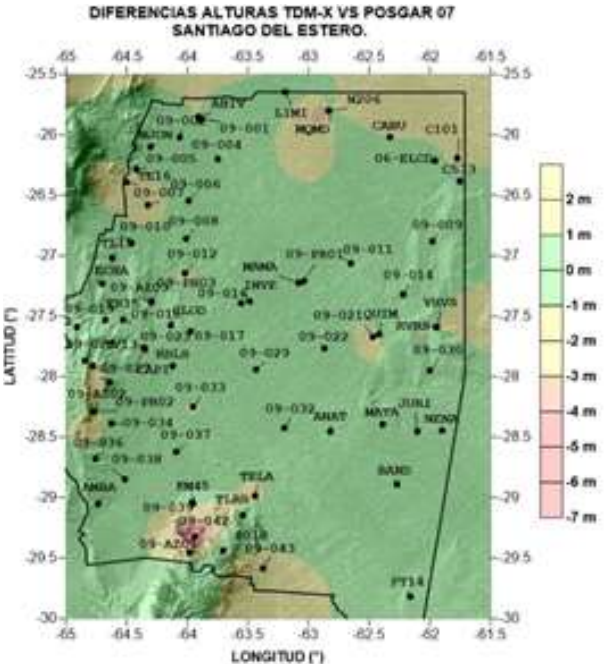


Figura 7. Mapa de diferencias de alturas entre TanDEM-X DEM y POSGAR07.

En la Fig. 7 se presenta el mapa de diferencias de alturas TanDEM-X DEM con respecto a las alturas

POSGAR07. El modelo TanDEM-X presenta muy buen ajuste en la zona de estudio. En color verde se representan los errores menores a 1 m, en color amarillo se presentan los errores comprendidos entre 1 m y 2 m en valor absoluto, para errores mayores a 2 m se selecciona el color magenta. Se observan zonas de coloración amarillo y magenta al noroeste, oeste, suroeste, norte, noreste, este, centro-este, de la provincia.

En la región noroeste, los errores mayores a 2 m en el punto 09-007, se encuentran en la influencia de las Sierras de Medina de la provincia de Tucumán.

En el oeste se observan errores mayores a -3 m en el punto 09-PR02 y mayores a 1 m en el punto A9-AZ02 en las Sierras de Guasayán.

En la zona suroeste se presentan errores mayores a -6 m (09-042), este es el error más elevado calculado para la zona de estudio, coincidente con la divisoria de aguas (norte) de las Sierras de Sumampa y Ambargasta, región con fuertes pendientes. Los puntos 09-AZ01 y TELA presentan errores mayores a -1 m, en coincidencia con las Sierras de Sumampa y Ambargasta. El punto 09-043 exhibe errores mayores a 1 m, geolocalizado en las Salinas de Ambargasta.

En la región norte se observa que el error que presenta el punto MQMD, mayor a -4 m, influye en la interpolación de los datos. Este punto se encuentra materializado sobre la terraza de un edificio gubernamental y rodeado por otros edificios.

El punto C101 presenta el mayor error absoluto positivo (mayor a 2 m) que predomina en la región noreste. Este punto está geolocalizado en el Parque Nacional Copo que se ubica en el extremo noreste de la provincia de Santiago del Estero. El parque nacional representa un área de conservan para el quebracho colorado santiagueño, especie arbórea nativa de Sudamérica, con alturas mayores a 24 m en su estado adulto.

El punto 09-021 presenta un error mayor a 1 m y en la interpolación de datos presenta un color amarillo en el mapa en la región centro-este. Los puntos RVRS y VRVS presentan errores mayores a 1 m y a -1 m, respectivamente, en la zona este de la zona de estudio. Esta región se conoce como los Bajos Submeridionales, un extenso sistema hidrológico de características no típicas que ocupan el sudeste de la provincia de Santiago del Estero (13.542 km^2) y las provincias de Santa Fe y Chaco. La región es una gran planicie que tiene una marcada pendiente de noroeste a sudeste que aporta sus aguas a través de un sistema de lagunas a los arroyos Golondrinas - Calchaquí y finaliza en el río Salado. Los suelos son arcillo-limosos, de difícil infiltración, con bajos que se colmatan con las lluvias. Las precipitaciones registradas varían entre 600 mm en el oeste a 900 mm en el este como media histórica anual. Desde el punto de vista geomorfológico, constituye una planicie de muy baja pendiente, donde se identifican áreas de inundaciones y encharcamientos y la presencia de suelos salinos marcadamente estacionales, entre otras características. CFI (Consejo Federal de Inversiones), INA (Instituto Nacional del Agua). 2017.

En la Figura 8 se amplía el rango de color verde hasta 2 m, el color amarillo entre 2 m y 3 m y el color magenta para errores mayores a 3 m. Esta nueva clasificación de colores permite geolocalizar los sitios en los que se encuentran los errores mayores a 2 m en la región de estudio. Se observa que los errores no superan los 2 m de altura, en casi toda la provincia. Sólo se observan pequeñas zonas en la que los errores son mayores a 2 m y menores a 7 m. Los puntos identificados con estos valores son: MQMD (norte), 09-007 (noroeste), 09-042 (sureste), 09-PR02 (oeste) y C101 (noreste).

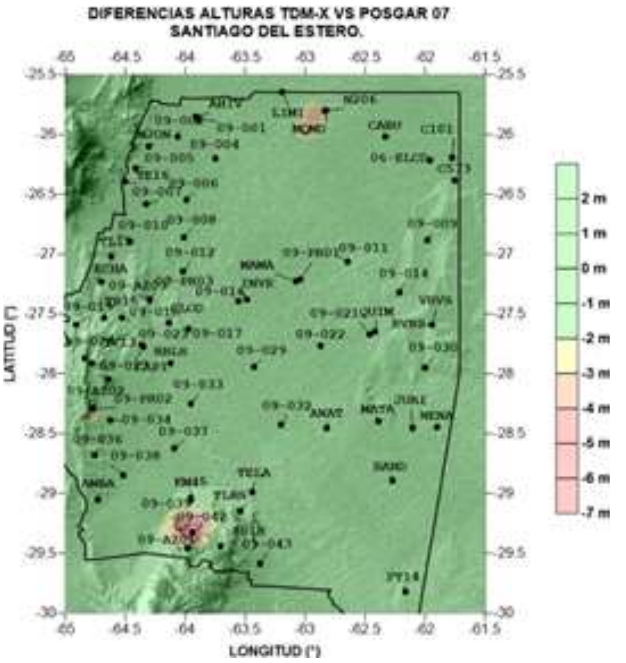


Figura 8. Mapa de diferencias de alturas entre TanDEM-X DEM y POSGAR07.

4. CONCLUSIONES

Los errores encontrados en el presente trabajo para la aplicación de TanDEM-X DEM para la provincia de Santiago del Estero son menores a 2 m. En consecuencia, presenta un notable ajuste con los puntos de la red geodésica de la provincia. Los errores mayores a 2 m y menores a 7 m son escasos y bien localizados, aun así, son menores a los errores esperados. La mayoría de ellos por efectos de las fuertes pendientes en la orografía de la zona noroeste, oeste y sudoeste de la provincia y la presencia de suelos salinos. En la zona norte influye

la colocación de antenas en terrazas de edificios rodeados por otros edificios que pueden provocar la retrodispersión de esquina que modifica la potencia de la señal. La presencia de masa boscosa en la zona noreste de la provincia cambia la potencia de la señal ya que se dispersa dentro de la propia vegetación. La presencia de la depresión geomorfológica de los bajos submeridionales y sus consecuencias estacionales como la presencia de charcos de agua y sales provocan distorsiones en la señal, en la zona centro este de la provincia.

Este DEM opera en la banda X, que ya había mostrado mejores resultados en SRTM que trabajó con las bandas C y X. La banda X mostró evaluaciones más precisas y los resultados de este trabajo lo demuestran, respecto de los estudios locales precedentes sobre esta temática Galván, 2014, Orieta et al., 2020, entre otros. Asimismo, la misión satelital ha mejorado la obtención de los datos desde satélites gemelos con órbitas estables y distancia ajustable entre ellos.

TanDEM-X muestra un importante ajuste para un DEM liberado recientemente y que muestra el estado del arte en la temática. TanDEM-X DEM muestra errores medios muy bajos (70 cm), cuando se compara con el conjunto de datos POSGAR 07 con precisiones de ± 0,005 m. Los errores máximo y mínimo son inferiores a los valores esperados para este DEM (10 m) en la provincia.

5. AGRADECIMIENTOS

Al Consejo de Investigación de Ciencia y Tecnología (CICYT) de la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE).

6. REFERENCIAS

Consejo Federal de Inversiones. Instituto Nacional del Agua. *"Recopilación, Análisis y Clasificación de Información y Confección de un GIS en Bajos Submeridionales Área Provincia de Santa Fe"*. 2017.

DLR Deutsches Zentrum für Luft – und Raumfahrt. Centro Aeroespacial Alemán. *"TanDEM-X. The Earth in three dimensions"*. 2010.

Farr, T. G.; Rosen, P. A.; Caro, E.; Crippen, R.; Duren, R.; Hensley, S.; Kobrick M.; Paller. M.; Rodriguez, E.; Ladislav, R.; Seal, D.; Shaffer, S., Shimada, J.; Umland, J.; Werner; M.; Oskin, M.; Burbank, D. and Alsdorf, D. "*The Shuttle Radar Topography Mission"*. Received 13 September 2005; revised 27 September 2006; accepted 14 November 2006; published 19 May 2007. Farr, T. G. & et al. 1-33. 2007.

Felicísimo, A. M. *"Modelos Digitales del Terreno. Introducción y aplicación en las ciencias ambientales"*. 1994.

Galván, Lucrecia. *"Análisis y Ajuste de Modelos Digitales de Elevaciones en la Región Central de la Argentina. Integración de Modelos Geopotenciales e Información Altimétrica Local"*. 2014.

Hofmann-Wellenhof & Moritz. *Physical Geodesy.* Springer Wien New York. 2006.

ICGEM (International Centre for Global Earth Models). http://icgem.gfz-potsdam.de/home. 28.8.2020. Earth System Science Data, 11, pp. 647-674, DOI: http://doi.org/10.5194/essd-11-647-2019.

Instituto Geográfico Nacional. https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geodesia/Introduccion. 28.8.2020.

Krieger, G.; Moreira, A.; Fellow, IEEE, Hauke Fiedler, Irena Hajnsek. *TanDEM-X: A Satellite Formation for High-Resolution SAR Interferometry.* 2007.

Krieger, G.; Zink, M.; Schulze, D.; Hajnsek, I.; Moreira, A. *"TanDEM-X: Mission Overview and Status"*. 2014.

Lemoine, F.; Pavlis, N.; Rapp, R. *"New high-resolution model developed for Earth's gravitational field"*. 1998.

Orieta,J; Galván, L; Infante, C., Duro, J. *"Aplicación de SRTM 90 m, ALOS World 3D – 30 m y TanDEM-X 90 m en la provincia de Santiago del Estero"*. 2020.

Rodríguez E.; Morris C. S.; Belz J.E.; Chapin E. C.; Martin J. M.; Daffer W.; Hensley S. *"An Assessment of the SRTM Topographic Products"*. JPL. Jet Propulsion Laboratory D- 31639. NASA. 2005.

Sistema Geodésico Mundial 1984. https://earth info. nga.mil/GandG/publications/tr8350.2/tr8 50_2. html. 28.8.2020.

Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS). http://www.sirgas.org/es/. 28.8.2020

The TanDEM-X 90 m Digital Elevation Model. https://geoservice.dlr.de/web/dataguide/tdm90/. 28.8.2020.

Wessel, Birgit.; Huber, M.; Wohlfart, C.; Marschalk, U.; Kosmann, D.; Roth, A. *"Accuracy assessment of the global TanDEM-X Digital Elevation Model with GPS data"*. Article in ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing · May 2018. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2018.02.017

Wessel, B. *"TanDEM-X. Ground Segment. DEM Products Specification Document"*. 2016.

Vuelo aerofotogramétrico con tecnología VANT en Lavalle, provincia de Santiago del Estero.

Llanos, Melina.[1,2]; Duro, Javier.[1]; Infante, Claudia.[1]; Galván, Lucrecia.[1]

(1) Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero.
(2) Dirección General de Catastro de la provincia de Santiago del Estero
lidiamelinallanos@gmail.com; javaduro@gmail.com; claudia.nfnt@gmail.com; galvanlucrecia@gmail.com

RESUMEN

En este artículo se analiza el comportamiento de la tecnología VANT (Vehículo Aéreo no Tripulado), en el levantamiento fotogramétrico aéreo, el procesamiento de los datos obtenidos mediante el empleo de este instrumental y algunos resultados que se pueden obtener para una zona de la ciudad de Lavalle, provincia de Santiago del Estero. La descripción detallada del proceso de aplicación de la técnica, desde la planificación previa hasta la presentación de resultados finales. El proyecto fotogramétrico se ejecutó con un VANT fotogramétrico de ala fija eBee Plus RTK SenseFly (facilitado por la Dirección General de Catastro de la Provincia). Se realizó el procesamiento de los datos con el software PIX4D Mapper (versión de prueba) para la adquisición de productos fotogramétricos tales como ortofotos, modelos digitales de terreno y nubes georreferenciadas de puntos. A partir de ellos se realizó la vectorización de determinados elementos geométricos de la topografía urbana utilizando software de Sistema de Información Geográfica.

ABSTRACT

This article analyzes the behavior of UAV (Unmanned Aerial Vehicle) technology in aerial photogrammetric surveying, the processing of data obtained through the use of this instrument, and some results that can be obtained for an area of the city of Lavalle, province of Santiago del Estero. The detailed description of the process of applying the technique, from the previous planning to the presentation of final results. The photogrammetric project was executed with an eBee Plus RTK SenseFly fixed-wing photogrammetric UAV (provided by the General Directorate of Cadastre of the Province). Data processing was performed with the PIX4D Mapper software (trial version) for the acquisition of photogrammetric products such as orthophotos, digital terrain models and georeferenced point clouds. From them, the vectorization of certain geometric elements of the urban topography was carried out using Geographic Information System software.

Palabras claves: (VANT - Fotogrametría – Ortomosaico- Vectorización).

Keywords: (UAV - Photogrammetry – Orthomosaic - Vectorization).

1. INTRODUCCION

La constante evolución de las técnicas de levantamientos topográficos y cartográficos, sus aplicaciones en el ámbito de las ingenierías, y particularmente en Agrimensura, nos acerca a la utilización de instrumental de avanzado desarrollo tecnológico y sus metodologías de aplicación para extraer de ello todo el potencial posible. La posibilidad de realizar mediciones de forma indirecta de la superficie terrestre, de una manera rápida y obteniendo resultados precisos y confiables, permite obtener información necesaria para la toma de decisiones y planificación de diversos tipos de proyectos. El empleo de equipos topográficos con tecnología láser y los receptores GNSS (Global Navigation Satellite System) es cada vez más común en la ejecución de los levantamientos; sin embargo, la aplicación de técnicas y equipos más avanzados como lo son la tecnología VANT o LIDAR (Light Detection and Ranging) van tomando cada vez más presencia e importancia. Los estudios preliminares en proyectos de ingeniería, el relevamiento de información en zonas de difícil acceso, la obtención de una base de datos topográfica que cumpla con las exigencias de las precisiones, etcétera, motivó el presente trabajo de investigación en el cual se estudia la aplicación de la fotogrametría aérea a través del uso de los VANT, para la obtención de información topográfica y la posterior producción de cartografía de tipo catastral.

2. PROYECTO DEL VUELO FOTOGRAMETRICO.

2.1 *Zona de trabajo – Condiciones climáticas*

Para el proyecto de vuelo se contó con un VANT del tipo ala fija, eBee Plus RTK, con el que se cubrió un área aproximada de 300 hectáreas, sobre la ciudad de Lavalle, ubicada en el Departamento Guasayán, provincia de Santiago del Estero; límite con la provincia de Catamarca. Las condiciones climáticas que se presentaron fueron las consideradas ideales: viento leve, entre 2 y 5 m/s de velocidad, sin ráfagas, cielo despejado de nubosidades y temperatura media 30°C aproximadamente. El horario de ejecución del vuelo fue durante el transcurso del mediodía, previendo tener el menor porcentaje de sombras en las fotografías; ya que la zona sobrevolada al ser urbana está conformada por edificaciones y las sombras de estas entorpecerían la etapa de vectorización. (ver Figura 1). Se procuró tener a disposición un espacio baldío, abierto, libre de obstáculos y edificaciones para la operación de despegue y aterrizaje de la plataforma VANT utilizada.



Figura 1: Imagen satelital capturada de Google Earth – Zona de trabajo.

2.2 VANT utilizado - Sensor

El eBee Plus RTK es un VANT de tipo ala fija; con alas rígidas desmontables de un compuesto de fibra de carbono (superficies de sustentación predeterminada); propulsado por un solo motor eléctrico que da movimiento a una hélice tractora, de despegue no vertical y lanzamiento manual; con una envergadura de 110 cm y un peso de 1.100 Kg incluyendo la batería y el sensor, una velocidad máxima de vuelo 25 m/s, resistencia al viento de hasta 12.5 m/s, una autonomía máxima aproximada de vuelo de 60 minutos (ver Figura 2).



Figura 2: VANT ala fija eBeePlus RTK.

Cuenta con autopiloto para navegación completamente autónoma incluyendo despegue y aterrizaje, y control automático de cámara. El sistema cuenta con una función que Sensefly llama HPoD (High Precision on Demand), lo que significa que la aeronave incluye una ruta de actualización incorporada para agregar la funcionalidad GNSS-RTK (Real Time Kinematic o Posicionamiento Cinemático en Tiempo Real), lográndose una precisión absoluta horizontal de 3 cm y vertical de 5 cm en teoría.

El sensor es una cámara diseñada para el mapeo fotogramétrico, RGB de 20 MPx. Tamaño del sensor: 1 pulgada. Con protector especial contra golpes y polvo. (ver Figura 3).



Figura 3: Cámara RGB - Sensefly S.O.D.A (Sensor optimised for drone applications)

2.3 Software de Planificación.

El software de planificación de vuelo es el denominado

eMotion 3, con el que se controla, planifica, simula y monitorea la trayectoria del VANT, además se exportan los datos de vuelo. El software va instalado en una notebook con sistema operativo comúnmente usado.

2.4 Dispositivo de Conexión y Radio Enlace.

La estación base (GNSS TOPCON HIPER V), el software de planificación, control y monitoreo (EMOTION3) y el VANT se comunican mediante un radio enlace con una frecuencia de 2.4 Hz y un alcance con rango nominal de 3 Km aproximadamente y rango máximo de 8 Km aproximadamente (ver Figura 4).



Figura 4: Equipo GNSS base y colectora de datos y accesorios.

3. METODOLOGIA DE TRABAJO.

3.1 Planificación del Vuelo.

Comprende una serie de decisiones previas tales como la escala del mapa, GSD (Ground Sample Distance – Distancia Mínima de Pixel en el Terreno) buscado, sistema de coordenadas, elipsoide de referencia, etcétera, que han de tenerse en cuenta en el planeamiento, ya que afecta las condiciones del vuelo, así como otras condiciones que se refieren a la calidad de la fotografía tanto en su aspecto geométrico (escala, arrastre de la imagen, horas útiles de tomas fotográficas, etc.). En el presente estudio se partirá del tipo de aeronave a utilizar, seguido por el GSD.

Los productos finales están orientados al uso de actualización de cartografía con fines catastrales, por tratarse de un área urbanizada, se debe obtener un GSD que permita observar mucho contenido identificable en las fotografías. Por lo tanto, el GSD del proyecto se define en un valor de 3 cm, lo que permitirá observar en los productos resultantes detalles de aproximadamente 12 cm^2 de superficie. Se decidió realizar los vuelos a una altura que se mantendrá constante para todo el proyecto. Se planificó cubrir la totalidad del área, con tres bloques de misión de Mapeo Horizontal, considerando para la definición del número necesarios de estos, el tiempo estimado de vuelo, los cuales fueron condicionados por la autonomía de vuelo de la aeronave. Luego para la planificación de cada bloque de misión se ingresa: una estimación de la velocidad del viento en el momento de ejecutar el vuelo, superposición longitudinal y lateral, en función de estos parámetros ingresados, eMotion 3 calcula el resto de los parámetros necesarios para crear los tres bloques de misión (ver Figura 5).



Figura 5: Configuración del proyecto fotogramétrico en eMotion3 y parámetros de vuelo.

Como ejemplo de los resultados obtenidos, se transcriben los correspondientes a el bloque 1 (ver Tabla 1).

Tabla 1: Parámetros calculados para estimación del proyecto fotogramétrico del primer bloque.

Área Cubierta	104,80 hectáreas
Altura de vuelo	117,50 metros
Tiempo de vuelo	30,5 minutos
Distancia de vuelo	22,45 kilómetros
Solape longitudinal	70%
Solape transversal	60%
Distancias entre corridas	66 metros
Distancias entre tomas	33 metros
Nº de fotogramas	627

3.2 Apoyo Terrestre.

Se denomina apoyo terrestre a la toma de datos y procesamiento del sistema puntos de apoyo fotogramétricos (PAF), que se utilizan como referencia para vincular el terreno con las fotografías durante la etapa de restitución. El número y distribución de

puntos de apoyo y/o puntos de control dependerá del número de misiones necesarias para cubrir el área de levantamiento (Torres Nieto et al, 2000).

En este proyecto se decidió de forma deliberada no levantar PAF, para poner en práctica funcionalidad RTK del sistema. A continuación, se describe la modalidad de trabajo.

El software de control conectado con la estación base, emite datos de corrección al GPS del VANT (eBee RTK) mediante el radio enlace.
La función RTK se trabajó en el modo denominado base local en posición desconocida.
Se colocó la estación base en una posición conveniente de coordenadas desconocidas (el GNSS calcula una posición aproximada de la base). El software envía datos de corrección a la aeronave a través del modem terrestre. Posteriormente se corrige la posición de la base mediante postprocesamiento para obtener un alto nivel de precisión absoluta (ver Tabla 2).

Tabla 2: - Posición estación base con postprocesamiento

Coordenadas Geodésicas POSGAR 07	Coordenadas Planas Gauss-Krügger POSGAR07
Latitud: 28°11'57,59637"S	X= 6881111,315 m
Longitud: 65°06'27,37187"O	Y= 3587617,727 m
Altura elipsoidal: 507,068 metros	

3.3 Ejecución de Vuelo.
En esta fase se realizaron las siguientes actividades: preparación del equipo, movilización a la zona de despegue y aterrizaje, procedimientos de seguridad necesarios para ejecutar el vuelo, procesos de calibración y ajustes básicos del sistema. El eBee Plus, es un VANT que vuela de manera autónoma y no necesita el control remoto para ser operado. El vuelo manual con el control remoto solo se usará como respaldo en caso de que se presente algún problema con el vuelo autónomo o en caso de interferencias con el software de control. Habiéndose elegido e inspeccionado la ubicación del despegue y aterrizaje, y una vez realizada la conexión entre la estación y la aeronave mediante el radio enlace; el software transfiere las líneas de vuelo e instrucciones del proyecto, al piloto automático del VANT, y los mantiene sincronizados por si se realizara algún cambio en la planificación durante el vuelo. Con el equipo en condiciones para volar, se ejecuta el despegue de la aeronave. Para la cartografía aérea, la aeronave sigue un plan de vuelo configurado previamente, de forma autónoma. Controlando su posición, estabilidad y captura de fotos, según lo planificado. En muchos casos no es necesario usar la barra de control (ver Figura 6).

La serie de pasos descriptos anteriormente resultaron de la combinación de conocimientos fotogramétricos para la adquisición de aerofotografías tradicionales, óptimas para el mapeo, e instrucciones y recomendaciones dadas por el fabricante del VANT, que otorgan seguridad a la ejecución del vuelo.



Figura 6. Estación GNSS RTK – Lanzamiento y despegue del VANT.

4. PROCESAMIENTO DIGITAL FOTOGRAMETRICO

De la ejecución del proyecto fotogramétrico resulta un conjunto de información aérea (fotogramas digitales con información geográfica) que permite proceder a la etapa de procesamiento de datos. En el tratamiento de las imágenes digitales se utilizó el software Pix4D Mapper, ya que se disponía de la posibilidad de trabajar en su versión Discovery. La precisión del proyecto se obtiene mediante la funcionalidad RTK que posee el sistema, con lo cual, el procesamiento de datos se simplificó, ya que, no fue necesario ingresar coordenadas PAF. Importados los datos e imágenes de vuelo y corregida la posición de la estación base y por consiguiente la geolocalización de las imágenes, se está en condiciones de dar inicio a el procesamiento de los datos. El software lee la información contenida en las fotografías y la posición de los archivos tomados por el GPS de la aeronave; Pix4D Mapper también identifica el sistema de coordenadas en que fueron registradas las posiciones de las fotografías, además del modelo de cámara con que se adquirieron las imágenes y los parámetros internos de la cámara. Cada imagen es procesada tomando en cuenta el nivel de precisión de su geolocalización, en este caso, las posiciones se observaron con la funcionalidad RTK, por lo tanto, se espera una precisión centimétrica. Debido a que el número total de fotografías tomadas fue de 1.808, lo cual resultaría en un proyecto demasiado grande, no siendo recomendado para el

procesamiento, ya que el tamaño de los resultados obtenidos sería de difícil manejo al momento de extraer información o producir cartografía. Esta división del proyecto también es recomendable para facilitar y disminuir el tiempo de procesado y la optimización del trabajo del computador utilizado. Para iniciar el procesamiento de las imágenes, se creó un proyecto en el software, donde se ingresaron las imágenes digitales adquiridas. El programa identifica el sistema de coordenadas en que fue registrada la posición de las fotografías, el modelo de cámara con que se adquirieron las imágenes y los parámetros internos de la misma. Cada imagen es procesada tomando en cuenta el nivel de precisión de su posición. Una vez que son verificados los sistemas de coordenadas de la localización de las imágenes, el nivel de precisión de la localización y la selección del modelo de la cámara utilizada, se selecciona el sistema de coordenadas de los archivos de salida y las unidades de medición del proyecto. Para el procesamiento de las imágenes de este proyecto de vuelo, se selecciona como sistema de coordenadas de salida y de ingreso de los puntos de apoyo, *POSGAR 2007 / Faja 4*, sistema de proyección Gauss-Krüger utilizado para representar el sector continental de la República Argentina. Posteriormente es necesario configurar una plantilla, para procesar las fotografías, que se adapte a las características requeridas por la finalidad del proyecto

El software realiza el procesamiento en tres etapas:

1.- Un Procesamiento Inicial: El software busca coincidencias entre fotografías para la creación de puntos de paso que permiten generar una nube de puntos, utilizada para el modelado 3D de la superficie. El software integra la información de geolocalización interna de las fotografías y de los puntos de apoyo, para hacer la aerotriangulación aérea que definirá la posición de estos puntos de paso. El uso de puntos de apoyo con posiciones precisas permite escalar el modelo 3D y por lo tanto los productos que se generan a partir de él, al mismo tiempo que aumenta la precisión global del proyecto.

2.- Nube de puntos y malla: La segunda etapa del procesamiento consiste en la densificación de la nube de puntos y la malla 3D.

3.- Modelo digital de elevación, ortomosaico e índices: Ésta tercera etapa del procesamiento comprende la creación del modelo digital del terreno, el ortomosaico y los índices de mapa (útiles principalmente en el área de agricultura), a partir de las imágenes rectificadas y de los puntos generados en el procesamiento inicial y en la densificación de la nube.

5. PRODUCTOS OBTENIDOS

5.1 Ortofoto de la zona de estudio

Imagen fotográfica procesada con escala constante y propiedades de una proyección ortogonal, que nos permite medir y vectorizar los distintos elementos que en ella se encuentran (ver Figura 7).

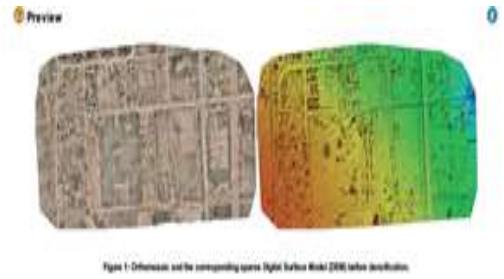


Figura 7: Detalle de la ortofoto procesada

5.2 Nube de puntos

Nube de puntos georreferenciada, densificada y clasificada, donde cada uno de los puntos tiene un valor de coordenadas, que será utilizada para la realización del plano de curvas de nivel, perfiles, cálculos de volúmenes, modelos digitales de elevación, etcétera (ver Figura 8).



Figura 8: Detalle de la nube de puntos densificada obtenida de la zona de trabajo.

6. RESULTADOS - VECTORIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS

6.1 Definiciones.

La vectorización se realiza sobre el ortomosaico georreferenciado y consiste en representar cada uno de los elementos que se encuentran en el terreno. Es mismo es compatible con software de tipo GIS (Geographic Information System). Debido a la gran cantidad de detalles e información que presentan las ortoimágenes, se convierte en una herramienta fundamental y de fácil manejo para la medición de edificaciones y terrenos, así como otros

elementos dentro del terreno que sean visibles. La vectorización facilita el trabajo porque se cuenta con una representación digital del terreno, donde es posible observar lo que contiene y trazar sobre el ortomosaico los límites de lo que se desea medir. Del modelo digital de terreno, también, se puede extraer información topográfica, y conocer más en detalle la morfología del terreno.

6.2 Vectorizaciones

Los elementos vectorizados fueron entre otros: traza de la ciudad, límites de propiedad, edificaciones y estructuras, calles, veredas y parques. Se pudo realizar el trazado de elementos que requieran un nivel de precisión si dichos elementos son visibles o están en zonas descubiertas y si la resolución (GSD) y el nivel de precisión requerido por el proyecto lo permite (Ver Figuras 9 y 10).



Figura 9: Detalle de la vectorización, en rojo las líneas municipales y cordón vereda. En azul las superficies construidas.



Figura 10: Detalle de la vectorización, en verde las líneas de caminería de una plaza.

En el Proyecto fotogramétrico Ciudad de Lavalle los datos se procesaron en tres partes, debido a que el área cubierta por el proyecto fue aproximadamente de 300 ha de la cual se obtuvieron 1808 fotografías, representando un gran tamaño de datos para ser procesado en un único proyecto. Se obtuvo un GSD promedio de 3.07 cm, un MDS y un ortomosaico cubriendo aproximadamente 159 has en el bloque 1, 124 has el bloque 2 y 204 has en el bloque 3. También se generó una nube de puntos densificada y clasificada la cual permite realizar una mejor interpretación de las características de la zona.

El nivel de precisión de los resultados obtenidos está relacionado con el GSD del proyecto. De acuerdo al software de procesamiento, los resultados se estiman como dos veces el GSD en horizontal (6.14 cm para este proyecto) y tres veces en vertical (9.21 cm para este proyecto) debido a que no se puede asegurar que la representación de la superficie en un pixel sea exacta, y debe considerarse que un punto representado en el interior del área de un pixel podría encontrarse realmente dentro de la zona cubierta por uno de los pixeles consecutivos.

7. CONCLUSIONES

De acuerdo al GSD de las ortofotos obtenidas a partir de los datos adquiridos con el VANT eBee Plus RTK, con la cámara S.O.D.A, se pueden confeccionar mapas topográficos y/o cartográficos a escalas 1:1000, 1:750, 1:500 y 1:250.

La utilización de tecnología VANT posibilitó obtener ortofotos actualizadas de la ciudad de Lavalle, permitiendo conocer su crecimiento, como así también las características métricas, geométricas, edilicias y de infraestructura con que cuenta la ciudad.

Un VANT con funcionalidad RTK/PPK permite obtener productos fotogramétricos con igual calidad en lo que se refiere a precisiones y resultados en la georreferenciación, que en los proyectos que se utilizaron PAF, pero con la ventaja que se reduce el tiempo en la ejecución del proyecto, permitiendo ejecutar vuelos en sitios con limitantes, como ser la inaccesibilidad, o donde los procedimientos de medición resultan difíciles de realizar.

En las regiones urbanas, con edificaciones, donde conviven diversas frecuencias como las de Wi-Fi local y las de radio, estas interfirieren con la conexión del enlace de datos entre la aeronave y la estación base durante el vuelo, entonces las posiciones de la cámara pueden resultar corregidas con precisión centimétrica en algunos sectores, mientras que en otros (donde se pierde la conexión) no. Resultando la precisión alcanzada en estas posiciones las que otorga el GPS en autónomo (menores precisiones).

Para el procesamiento, las imágenes tomadas deben ser nítidas y tener la menor cantidad de ruido. Tales imágenes pueden ser obtenidas cuando la escena está bien iluminada y los parámetros de la cámara estar bien ajustados. Si la escena no está lo suficientemente clara, las imágenes tendrán más ruido y serán menos nítidas, lo que disminuye la precisión de

los resultados; por lo cual, la ejecución del vuelo se debe realizar en horas cercanas al mediodía, cuando el sol se encuentra en su posición más alta, en días soleados evitándose las nubes dispersas, con vientos en calma y la atmósfera libre de polvo. Por lo anteriormente mencionado se puede afirmar que el clima es un factor principal a tener en cuenta al momento de la ejecución del vuelo, ya sea para el buen funcionamiento y seguridad de la aeronave como para la eficiente adquisición de datos.

Es recomendable analizar selectivamente una a una las fotografías adquiridas ya que de la calidad de estas dependerá la calidad de los productos fotogramétricos creados por el software de restitución.

Se debe tener en cuenta las características de la zona a volar, por lo que, para realizar el plan de adquisición de imágenes, se recomienda en bosques y sitios con vegetación densa, volar alto para facilitar la reconstrucción, ya que se tendrá mayor contenido visual en las fotografías, aunque la resolución espacial se reducirá. Asimismo, se recomienda, en proyectos que incluyan terrenos con pendientes elevadas y diferencias pronunciadas en la cota, diseñar la misión de vuelo considerando para el GSD el punto más bajo y para la superposición el punto más alto recorrido durante el vuelo.

La fotogrametría con VANT, en áreas pequeñas y medias, permite obtener resultados confiables, siendo una metodología accesible, económica y eficaz.

8. AGRADECIMIENTOS

Al Consejo de Investigación de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Santiago del Estero (CICYT-UNSE).

A la Dirección General de Catastro de la provincia de Santiago del Estero, por la disponibilidad de los datos, equipamiento y software utilizados.

9. REFERENCIAS

Instituto Geográfico Nacional, *Sistemas Aerofotogramétricos,* 2020.

Llanos, L.M., *Trabajo Final de Graduación La Tecnología VANT en el Campo de la Fotogrametría y sus Aplicaciones Topográficas y Cartográficas,* Universidad Nacional de Santiago del Estero, Santiago del Estero, Argentina, 2019.

Pérez Álvarez, J. A., *Apuntes de Cátedra Fotogrametría III,* Universidad de Extremadura, Mérida, España, 2001.

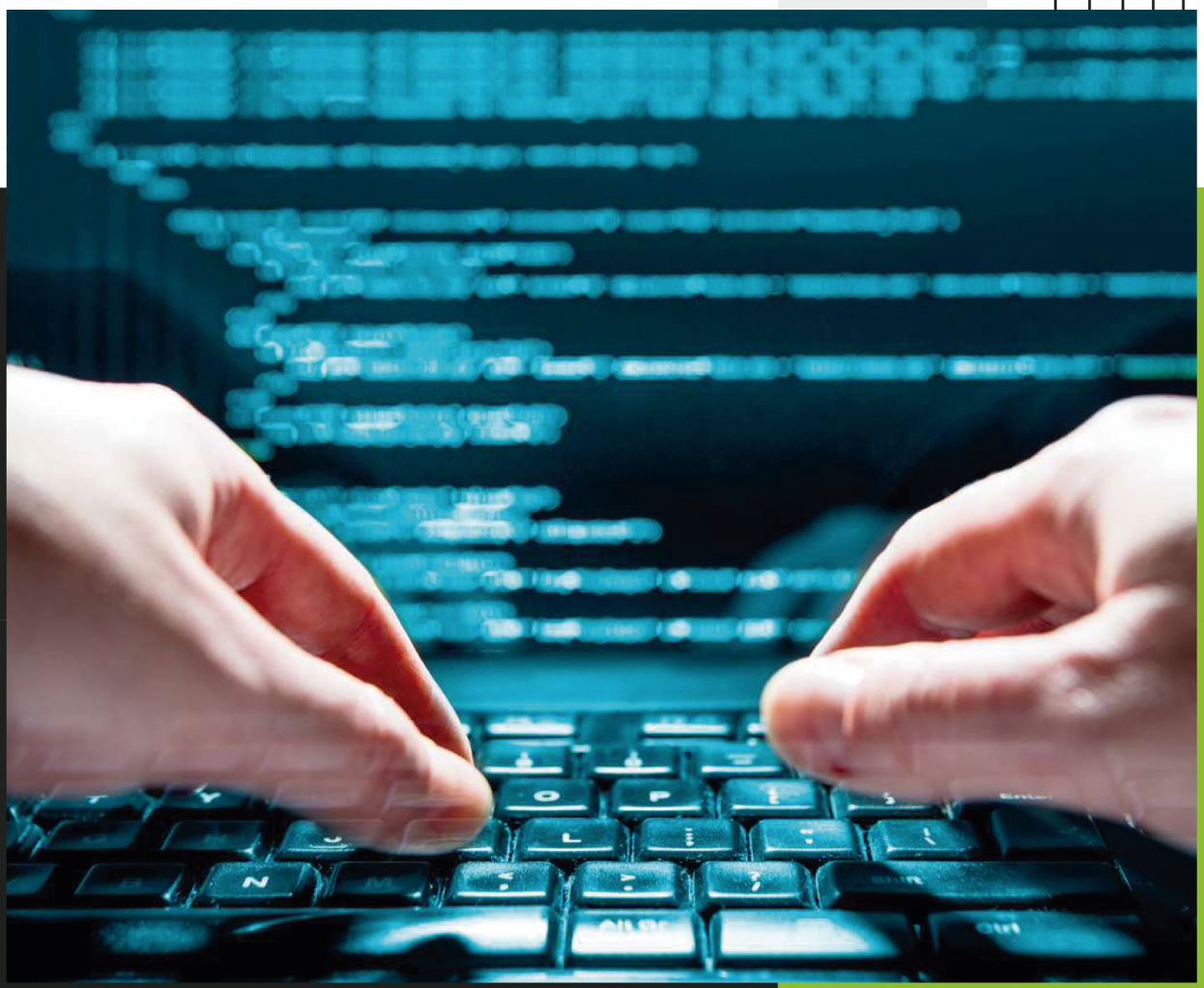
Pix4D SA, *Pix4Dmapper 4.1 User Manual,* 2020.

Pix4D SA, *Pix4Dcapture-Manual y Configuración,* 2020.

Torres Nieto, A., Villate Bonilla, E., *Topografía 4ta Edición,* Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá, Colombia, 2000.

Manuales eBee Plus, Manual eMotion 3, www.sensefly.com – www.support.pix4d.com.

COMPUTACIÓN E INFORMÁTICA



Propuesta de Metadatos para Repositorio Institucional de Gestión de Evidencias Móviles

Méndez Analía[1], Lara Cecilia[1,2], Figueroa Liliana[1], Viaña Graciela[1], Lesca Norma[3]

(1) Instituto de Investigación en Informática y Sistemas de Información, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero
amendez@unse.edu.ar; clara@unse.edu.ar; lmvfigueroa@yahoo.com.ar; gv857@hotmail.com
(2) Oficina de Informática Forense del Gabinete de Ciencias Forenses del Ministerio Público Fiscal de Santiago del Estero clara@unse.edu.ar
(3) Poder Judicial de la Nación – Juzgado Federal Nro. 2 - Santiago del Estero norma.lesca@gmail.com

RESUMEN

Paralelamente al desarrollo tecnológico de los dispositivos móviles, también se han visto involucrados en hechos delictivos la capacidad de procesamiento de información y las formas de intercambio de datos, generando nuevos tipos de evidencias digitales forenses. La preservación digital es un problema esencial en el contexto de la informática forense, en la cual las evidencias digitales crecen de manera exponencial y cuyos contenidos se hacen cada vez más dinámicos. En este sentido, contar con un repositorio para la preservación y la gestión de evidencias digitales extraídas de dispositivos móviles durante la Investigación Penal Preparatoria (IPP) exige la elaboración de pautas que permitan constituirlo como una herramienta útil para el archivado, consulta y referenciación por parte del personal autorizado. En particular es preciso contar con un formato de metadatos que permita representar acabadamente a los diversos tipos de evidencia digital. En este artículo se plantea la necesidad de contar con metadatos adecuados y se establecen las primeras aproximaciones a la definición de los mismos.

ABSTRACT

Along with the technological development of mobile devices, the capacity to process information and the forms of data exchange have also been involved in criminal acts, generating new types of forensic digital evidence. Digital preservation is an essential problem in the context of computer forensics, in which digital evidence grows exponentially and whose content becomes increasingly dynamic. In this sense, having a repository for the preservation and management of digital evidence extracted from mobile devices during the Preparatory Criminal Investigation (IPP) requires the development of guidelines that constitute it as a useful tool for archiving, consultation and referencing by the authorized expert. In particular, it is necessary to have a metadata format that allows the diverse types of digital evidence to be fully represented. This article raises the need to have adequate metadata and the first approximations to their definition are obtained.

Palabras claves: repositorios institucionales – evidencias digitales – metadatos – informática forense

Keywords: institutional repositories - digital evidence - metadata - computer forensics

1 INTRODUCCIÓN

Los smartphones, como dispositivos móviles inteligentes, cuentan con operatividad y capacidad de procesadores de alta tecnología además de las funciones básicas de cualquier teléfono. En un contexto de recolección de evidencias forenses, constituyen una fuente profusa de información, así como una herramienta de trabajo (Viaña, 2018).

Cuando un dispositivo móvil se encuentra involucrado en un hecho delictivo o incidente se convierte en una fuente de información muy sensible como aporte en el proceso de investigación, ya que proporciona información personal y laboral e incluso refleja costumbres o hábitos de su usuario.

Para realizar una investigación en estos dispositivos, los peritos forenses requieren seguir procedimientos adecuados, una cadena de custodia bien definida, normas de preservación de evidencia físicas (por ejemplo, huellas dactilares en el dispositivo), así como también utilizar herramientas y tecnologías que permitan obtener una apropiada manipulación y rápida recuperación de la información almacenada en el dispositivo. La información obtenida será analizada, y servirá para redactar un informe pericial de las actividades efectuadas, con la finalidad de contar con evidencias que revelen la causa y forma de un posible delito.

El protocolo de actuación propuesto en el marco del proyecto “Computación Móvil: desarrollo de aplicaciones y análisis forense”, contempla aspectos fundamentales de lo que constituye una buena práctica pericial forense aplicada sobre dispositivos móviles y pretende apoyar la condición de admisibilidad que la prueba digital debe cumplir para constituirse en eficaz para la investigación judicial (Herrera, 2019). Sus lineamientos procuran ofrecer suficiente respaldo jurídico para la labor de los peritos informáticos en la investigación penal, además de servir como una herramienta para la planificación y control de dicho proceso en la Investigación Penal Preparatoria (IPP) (López, 2018).

En el desarrollo de modernización de la gestión judicial, la preservación de la evidencia digital constituye un aspecto de importancia para el logro de la despapelización de los procesos judiciales. Las evidencias digitales deben conservarse de forma íntegra, accesible e interpretable a lo largo del tiempo.

En este contexto el presente artículo propone abordar una primera definición de los metadatos a ser utilizados en el diseño de un repositorio institucional que permita resguardar las evidencias digitales extraídas de dispositivos móviles durante la IPP; el mismo, surge en el marco del proyecto de investigación “Métodos y herramientas para el análisis forense de dispositivos móviles” (23/C156), iniciado en el 2019, que se desarrolla en el Instituto de Investigaciones en Informática y Sistemas de Información de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías y financiado por el Consejo de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Santiago del Estero.

El desarrollo del contenido de este artículo se organiza de la siguiente manera: en la sección dos se aborda una revisión del concepto de metadatos; en la sección tres se indaga sobre evidencias digitales; en la sección cuatro se trata sobre repositorios institucionales, proponiendo los aspectos a tener en cuenta en el proceso de creación y desarrollo de un repositorio digital forense; la propuesta de metadatos para la evidencias digitales es tratada en la sección cinco y finalmente en la sección seis se plantean conclusiones y anhelos futuros.

2 METADATOS

Los metadatos constituyen información, organizada por su naturaleza, que se utiliza para describir un activo. Generalmente, los metadatos se definen como "información acerca de la información", "información sobre la sustancia de la información" o "sustancia sobre la sustancia" (Gayen, 2018). El término metadatos se utiliza para referirse al concepto de "datos sobre los datos", y se aplican tanto para describir información comprensible por la computadora como para detallar recursos electrónicos.

De este modo, mediante los metadatos es posible describir los principales atributos o características de los recursos digitales indicando toda información descriptiva sobre el contexto, calidad, condición o características de un recurso, dato u objeto, a fin de facilitar su recuperación, autentificación, evaluación, preservación o interoperabilidad (Senso, 2003).

2.1 Importancia de los metadatos

La principal función que tienen los metadatos es proporcionar la mínima información necesaria para identificar un recurso y describir sus características. Los metadatos son necesarios para describir la información almacenada y, paralelamente, aseguran la accesibilidad, identificación y recuperación de los recursos. La descripción proporcionada por los metadatos facilita la organización, la interoperabilidad y la integración de los recursos, permitiendo la identificación digital de cada archivo. En el caso de los activos digitales, normalmente los metadatos son información textual estructurada que detalla la creación, el contenido o el contexto del objeto digital (Ivanova, 2012).

2.2 Tipos de metadatos

Existen diferentes tipos de metadatos que se pueden organizar de acuerdo a cómo describen los datos que describen (Sugiantoro, 2018):

- descriptivos: para representar título, autor, extensión, tema, palabras clave, etc.;
- estructurales: detallan identificadores únicos, números de página, características especiales (tabla de contenido, índices), etc.;
- técnicos: adecuados para describir formatos de archivo, fechas de escaneo, formato de compresión de archivo, resolución de imagen, etc.;
- de preservación: utilizados para describir la información de archivo;
- relacionados a derechos digitales: se aplican para representar propiedad, derechos de autor, información de licencia, etc.

Los metadatos se pueden almacenar de maneras diversas:

- Como un documento vinculado al recurso.
- Formando parte de un registro en una base de datos o incrustado en páginas web.
- En un repositorio vinculado a los recursos que describe.

En un repositorio que posee mecanismos para importar, identificar, almacenar, preservar, recuperar y exportar un conjunto de objetos digitales, los metadatos permiten describir dichos objetos facilitando su recuperación (Fernández Porcel, 2020). De este modo, el propósito principal del uso de metadatos es facilitar el proceso de recuperación de recursos, describiéndolos de una manera coherente y estructurada, adecuada para su procesamiento.

2.3 El modelo de metadatos Dublin Core

Dublin Core (DC) fue desarrollado por Dublin Core Metadata Initiative en 1995. Contiene solo quince elementos que pueden modificarse o ampliarse debido a su flexibilidad, ellos son: contributor, coverage, creator, date, description, format, identifier, language, publisher, relation, rights, source, subject, title y type (Arakaki, 2018).

Tabla 1. Clasificación de los elementos básicos de Dublin Core.

Aspecto	Elemento
Temporalidad	date type format identifier
Propiedad intelectual	creator publisher contributor rights
Contenido	title subject description source language relation coverage

Los quince elementos que integran el formato Dublin Core se pueden clasificar en tres grupos según la clase o ámbito de la información que contienen, como lo muestra la Tabla 1:

- Elementos vinculados a la temporalidad y formato del recurso: fecha, tipo de recurso, formato, identificador del recurso.
- Elementos relacionados al recurso respecto a su propiedad intelectual: autor, editor, otras colaboraciones y derechos.
- Elementos relativos al contenido del recurso: título, tema, descripción, fuente, lenguaje.

Cada uno de estos elementos de Dublin Core es opcional, y puede aparecer en cualquier orden. Se trata de un conjunto de elementos genéricos y aplicables a una variedad de objetos digitales (Coyle, 2004).

Los elementos básicos de Dublin Core, generalmente se utilizan para describir recursos simples como texto o imágenes. Para describir de manera más completa un recurso se desarrolló la norma Qualified Dublin Core, que emplea calificadores adicionales y permite refinar el significado de un elemento. Estos calificadores entonces aumentan la precisión de los metadatos en su tarea de descripción de recursos (Arakaki, 2018).

3 EVIDENCIA DIGITAL

Se denomina evidencia digital a la información relevante para un proceso judicial que se encuentra almacenada en formato digital o que fue procesada y transmitida por medio de sistemas o dispositivos informáticos (Rodríguez García, 2019). El perito informático se encarga de recogerla o captarla

aplicando técnicas especializadas y preservándola para que constituya una prueba válida en un proceso de investigación forense. Particularmente, la recolección de evidencia digital móvil se complejiza constantemente debido a la evolución incansable de los dispositivos móviles que, a su vez, genera mayor cantidad de información para ser analizada (Bautista, 2016).

4.1 Clasificación de la evidencia digital

Evidencia digital, evidencia electrónica o registro electrónico son términos que se utilizan generalmente para describir cualquier registro generado por, o almacenado en, un sistema computacional y que puede ser utilizado como evidencia en un proceso legal (Gómez, 2015).

La evidencia electrónica es tangible, física y visualmente reconocible (computadora, teléfono, etc.), por otra parte, la evidencia digital es evidencia que fue extraída o recuperada desde la evidencia electrónica (archivos, correos, imágenes, etc.).

La evidencia digital es una prueba tomada de la evidencia electrónica como resultado del análisis de la evidencia y de la clasificación de la evidencia digital. Se trata, entre otros, de correo electrónico, archivos de imagen, archivos de Office, archivos de audio, archivos de video, ID de usuario y contraseña, servicio de mensajes cortos (SMS), y registros de llamadas (Sugiantoro, 2018).

4.2 Preservación de evidencias digitales

En la Informática Forense un problema de relevancia radica en la preservación digital, reflejando el constante crecimiento, así como el dinamismo de los contenidos de las evidencias digitales.

La gestión del conocimiento, producto de los procesos de obtención y análisis de evidencia, podría aumentar la capacidad operativa y el nivel de desempeño de los Laboratorios de Informática Forense. Para cumplir con ese objetivo, la creación de un repositorio para la preservación y la gestión de evidencias digitales extraídas de dispositivos móviles durante la IPP requiere que previamente se establezcan pautas que lo conformen como una herramienta adecuada para el archivado, consulta y referenciación por parte de personal autorizado.

4 REPOSITORIOS INSTITUCIONALES

Los repositorios facilitan el acceso a la información organizada y constituyen una herramienta para el trabajo que desempeñan los integrantes de las instituciones donde se implementan. En el ámbito de las instituciones públicas, los repositorios pueden brindar mayor información sobre la manera en que se resuelven conflictos, se organizan las responsabilidades y se llevan a cabo los procedimientos, normas y reglas, así como todas las actividades de los integrantes de la institución pública, otorgando a los ciudadanos un conocimiento pormenorizado del quehacer judicial y en consecuencia una mayor credibilidad en su accionar (Duperet Cabrera, 2015).

Los repositorios pueden almacenar información en diferentes tipos de formato como libros electrónicos, revistas, audios, videos, imágenes, entre otros, organizando los datos en colecciones ordenadas sobre las que es posible aplicar operaciones de búsqueda y consulta.

Se trata de un sistema "que hace uso de Internet, sirve para almacenar y controlar la información guardada en los contenidos digitales y facilita el acceso de sus usuarios a estos contenidos, generalmente desde cualquier lugar" (De Giusti, 2018).

Las características de los repositorios institucionales pueden ser resumidas en los siguientes términos: (Flores, 2017) (Weiser, 2016).

- Permiten almacenar diferentes formatos de archivos, considerando escalabilidad, extensibilidad y mantenimiento.
- Aceptan estándares de metadatos, adecuadamente descriptivos, de preservación y administrativos.
- Facilitan la interoperatividad cumpliendo con los principales protocolos de intercambio de información.
- Permiten diferentes formas de búsqueda y visualización de metadatos.
- Cuentan con sistemas de seguridad que aseguran autenticación y autorización de usuarios para el acceso a los metadatos.

Para una institución las ventajas de implementar un repositorio institucional son amplias (Flores, 2017) (Gómez, 2009):

- Tanto la información como los documentos institucionales están almacenados en una misma base de datos.
- Facilita el acceso a la información recolectada presentándola en forma clasificada y organizada.
- Permite búsquedas rápidas dentro de la estructura de almacenamiento por diferentes patrones, agilizando el tratamiento de la información.
- Para el diseño del almacenamiento se siguen normas internacionales y estandarizadas que favorecen el intercambio.
- Se preserva el material digitalizado ajeno a los deterioros propios del soporte físico.

4.1 Repositorio institucional para evidencias digitales móviles

Llevando a cabo la función de apoyo al desempeño de la investigación judicial, un repositorio de evidencias forenses podría almacenar la evidencia digital obtenida desde dispositivos móviles, así como constituirse en un sistema de gestión del conocimiento, almacenando información de relevancia para el proceso forense.
Para cumplir con este cometido, el repositorio de evidencias digitales móviles deberá poder almacenar información obtenida desde dispositivos móviles y contar con funcionalidades que garanticen la preservación y consulta de diversos tipos de archivos multimediales. En particular, este repositorio deberá contar con metadatos que permitan representar las características específicas de la evidencia digital forense.
En la figura 1 se muestra la arquitectura global del repositorio institucional en el contexto del Ministerio Publico Fiscal de la provincia de Santiago del Estero.



Figura 1: Arquitectura global del repositorio institucional.

5 PROPUESTA DE METADATOS PARA LA EVIDENCIA DIGITAL

Dublin Core es un modelo de metadatos sumamente sencillo y fácil de aplicar, sin embargo, al momento de describir información de recursos que se caracteriza por ser más compleja y especializada, es necesario ampliarlo a nuevos niveles de catalogación.
En la Tabla 2 se presentan los elementos de metadatos para describir a la evidencia electrónica. Entre los elementos identificados relacionados con la evidencia electrónica se encuentran teléfono, computadora o notebook, tablet, pendrive o disco externo o memoria externa y dvr.
Para cada uno de dichos elementos se establecieron sub-elementos y sus propiedades, atendiendo a la necesidad de describir los objetos propios de la IPP.
Por otra parte, es necesario describir cada uno de los diversos tipos de evidencias digitales, tales como imagen, video, sonido, etc., estableciendo los datos que permitan describirlos de una manera adecuada.
En la Tabla 3 se presentan los elementos imagen, video, sonido, conversación (chat wsp, facebook), mensaje SMS, llamada, contacto, y ubicación, detallando las propiedades de cada uno.
Cualquier objeto digital posee propiedades incrustadas que es posible acceder. En este sentido, se genera información de metadatos con las propiedades internas de cada uno de los elementos; así, por ejemplo, si es un vídeo grabado por un dispositivo móvil se encuentra información como

Tabla 2. Metadatos sobre evidencia electrónica.

Elemento • Sub-elemento	Dato
Teléfono	marca / modelo / color
• SIM	número / empresa
• Memoria externa	marca / capacidad
Computadora / Notebook	marca / modelo / color
• Disco rígido	marca / modelo / número de serie / capacidad
Tablet	marca / modelo / color
• SIM	número / empresa
• Memoria externa	marca / capacidad
Pendrive / Disco externo / memoria externa	marca / modelo / capacidad de lmacenamiento
DVR	marca / modelo / color
• Disco rígido	marca / modelo / número de serie / capacidad

Tabla 3. Metadatos referidos a los distintos tipos de evidencias digitales.

Tipo	Dato
Imagen	nombre / url / tamaño / fecha captura / dispositivo captura / hash
Video	nombre / url / tamaño / duración / fecha captura / dispositivo captura / hash
Sonido	nombre / url / tamaño / duración / fecha captura / dispositivo captura / hash
Conversación (chat Wsp, Facebook)	nombre / url / tamaño / contactos / fecha de realización / aplicación de mensajería / hash
Mensaje SMS	nombre / nombre_ contacto_envio / nombre_ contacto_recepcion / nro_linea_envio / nro_ linea_recepcion / fecha
Llamada	nombre / nombre_ contacto_envio / nombre_ contacto_recepcion / nro_ linea_envio / nro_linea_ recepcion / fecha
Contacto	nombre / aplicación / nro_linea / id_aplicacion
Ubicación	coordenadas /

su resolución, el bitrate (es el flujo o la tasa de datos, o la cantidad de información que reproduce el ordenador por segundo), los canales y calidad del audio, su duración. En el caso de las fotos, los metadatos que se introducen en el proceso de adquisición de la imagen, pueden ser modelo, marca o número de serie de la cámara, la apertura de diafragma, sensibilidad o distancia focal a la que se ha tomado, o si se ha hecho con un modo manual y con flash o sin flash. Si se ha tomado la foto con un smartphone, el modelo del mismo y la latitud, longitud y altura a la que se encontraba en ese momento; también, los datos del archivo en sí, como la resolución, el peso o el tamaño de la imagen.

6 CONCLUSIONES

El avance tecnológico trae continuamente nuevas formas de intercambio de datos y mayor capacidad de procesamiento de información mediante el uso de dispositivos móviles. Esto se refleja también en un aumento de crímenes relacionados a los dispositivos móviles produciendo diferentes tipos de evidencias digitales forenses, útiles para la IPP. La propuesta de metadatos para representar los diferentes tipos de evidencias digitales, constituye la aproximación inicial al desarrollo de un repositorio institucional destinado a almacenar, preservar, recuperar y exportar evidencias digitales forenses extraídas de dispositivos móviles. En futuros trabajos será preciso ahondar en la aplicación y verificación de los metadatos elaborados, así como avanzar en la consideración de otros formatos. Se pretende continuar con el diseño de un prototipo del repositorio institucional que permita evaluar las operaciones de almacenar, recuperar, distribuir y acceder de manera segura las evidencias digitales llevadas a cabo por parte de los involucrados en el proceso de investigación judicial.

7 REFERENCIAS

Arakaki F., Alves R., da Costa P., Dublin Core: state of art (1995 to 2015), *Informação & Sociedade*, 28(2), 2018.

Bautista, D. R., Rueda, J. S. R., La informática forense en dispositivos Android, *Revista Ingenio*, 9(1), 21-34, 2016.

Coyle, K., Metadata: Data With a Purpose. California Library Association Meeting, November, Karen Coyle's Home Page. *http://www.kcoyle.net/meta_purpose.html*. 10.8.2021.

De Giusti, M. R., Curso de posgrado: Bibliotecas y repositorios digitales. Tecnología y aplicaciones, Curso de posgrado de Repositorios Digitales, Facultad de Informática, UNLP, 2018.

Duperet Cabrera, E., Pérez Martínez, D. G., Cedeño Rodríguez, M. Y., Ramírez Mustelier, A., Montoya Acosta, L. A., Importancia de los repositorios para preservar y recuperar la información, *Medisan*, 19(10), 1283-1290, 2015.

Fernández Porcel, A., Bustos González, A., Directrices para la creación de repositorios institucionales en universidades y organizaciones de educación superior, *Repositorio UDGVirtual*, 2020.

Flores, W. X. V., Escobar, J. E. F., Repositorio Digital, 2017.

Gayen, A., Bharathi, N., Survey of forensic analysis based on digital evidence using metadata, *International Journal of Pure and Applied Mathematics, 119* (16), 3367-3373. (2018).

Gómez, L. S. M., Herrera, H. H. Gestión del conocimiento aplicada al peritaje informático, *XI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*, 577-579, 2009.

Gómez, L. S. M., Análisis forense de dispositivos

de telefonía celular mediante procedimientos operativos estandarizados, *Simposio Argentino de Informática y Derecho* (SID 2015)-JAIIO 44, 16-25, 2015.

Herrera, S. I., Figueroa, L. M., Ghunter, D., Lara, C., Viaña, G., Mendez, A., Lesca, N., Métodos y herramientas para el análisis forense de dispositivos móviles, *XXI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*, 2019.

Ivanova, K., Dobreva, M., Stanchev, P., Totkov, G., *Access to Digital Cultural Heritage: Innovative Applications of Automated Metadata Generation*. University Publishing House "Paisii Hilendarski", Plovdiv, Bulgaria, 2012.

López, D. D. V., Evidencia digital, Bachelor's tesis, 2018.

Méndez, A., Lara, C., Figueroa, L. M., Viaña, G., Lesca, N., Repositorio institucional para la gestión de evidencias móviles, *XX Simposio Argentino de Informática y Derecho* (SID 2020)- JAIIO 49 (Modalidad virtual), 2020.

Navarro Clérigues, J., Guía actualizada para futuros peritos informáticos. Últimas herramientas de análisis forense digital. Caso práctico, *Escola Técnica Superior d'Enginyeria Informática*, Universitat Politécnica de Valencia, 2016.

Piccinini, L., Poinsot, S., Drake, B., Vecchi, M., Bozzetti, A., Repositorio digital de resoluciones y acordadas, XVI Simposio Argentino de Informática y Derecho (SID 2016)-JAIIO 45, 194-209, 2016.

Rodriguez García, E., Introducción a la Informática Forense: Legal, teórica y práctica, 2019.

Senso, J. A., Rosa Piñero, A. D. L., El concepto de metadato: algo más que descripción de recursos electrónicos, *Ciência da Informação*, 32, 95-106, 2003.

Sugiantoro, B., Prayudi, Y., Correlation Analysis Of Forensic Metadata For Digital Evidence, *International Journal of Computer Science & Information Security*, 16(3), 85, 2018.

Viaña, G., Figueroa, L., Lara, C., Corvalán, A., Lesca, N., Protocolo de actuación para recolección y preservación de la evidencia digital móvil en el Sistema Procesal Penal de Santiago del Estero, *CoNaIISI 2018*, 407-412, 2018. Viaña, G., Figueroa, L., Lara, C., Lesca, N., Binda, A., Importancia de la evidencia digital móvil en el Sistema Procesal Penal, *CIIDDI 2018*, 2018.

Villadiego, A., Uso de la informática forense aplicada a delitos informáticos en la industria colombiana, *Repositorio Institucional UNAD*, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2018.

Weiser, M., Biros, D., Mosier, G., Development of A National Repository of Digital Forensic Intelligence, *Journal of Digital Forensics, Security and Law*, Vol. 1 , Article 1, Annual ADFSL Conference on Digital Forensics, Security and Law, 2016.

FORESTAL, AGRONOMÍA Y ALIMENTOS



Berenjenas IV gama: problemáticas de su procesamiento

Lemos, María L.[1,2]; Gutiérrez, Diego R.[1,2]; Farías, Mariana J.[1,2] y Rodríguez, Silvia del C.[1,2]

(1) Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE).
(2) Centro de Investigación en Biofísica Aplicada y Alimentos (CIBAAL), CONICET-UNSE.
lauralemos86@gmail.com; silviadepece@hotmail.com

RESUMEN

El principal problema del procesamiento de berenjenas IV gama es el pardeamiento enzimático. En este trabajo se estudia el efecto de distintos tratamientos antioxidantes a fin de posibilitar su elaboración. Se aplicaron soluciones antioxidantes de ácido cítrico (AC), ácido ascórbico (AA) y cisteína (Cys) al 0.5 y 1% por 3 min, y tratamientos térmicos (TT) de inmersión en agua a 30 y 50 °C- 1 min combinado con el antioxidante seleccionado en la primera etapa, determinándose su efecto sobre atributos sensoriales (apariencia general y pardeamiento), parámetros de color y contenido de ácido ascórbico durante el almacenamiento. La inmersión en AA al 1% se consideró el mejor antioxidante ya que mantuvo la calidad visual durante 6 días, duplicando el contenido de AA respecto del control durante la conservación. El TT de 50 °C- 1 min, seguido de la inmersión en AA 1%-3 min fue la combinación óptima para controlar el pardeamiento enzimático y extender su calidad de fresco hasta 8 días. Por lo tanto, estos tratamientos serían los más adecuados para conservar la calidad sensorial de las berenjenas IV gama durante 8 días a 4 °C, y de fácil aplicación a nivel industrial.

ABSTRACT

The main problem in the processing of eggplant IV gama is enzymatic browning. In this work, the effect of different antioxidant treatments is studied in order to make their elaboration possible. Antioxidant solutions of citric acid (AC), ascorbic acid (AA) and cysteine (Cys) were applied at 0.5 and 1% for 3 min, and thermal treatments (TT) of immersion in water at 30 and 50 ° C - 1 min combined with the antioxidant selected in the first stage, determining its effect on sensory attributes (general appearance and browning), color parameters and ascorbic acid content during storage were studied. Immersion in 1% AA was considered the best antioxidant since it maintained visual quality for 6 days, doubling the AA content with respect to the control during conservation. The TT of 50 ° C-1 min, followed by immersion in AA 1% -3 min was the optimal combination to control enzymatic browning and extend its fresh quality up to 8 days. Therefore, these treatments would be the most appropriate to preserve the sensory quality of eggplant IV gama for 8 days at 4 °C, and easily applied at an industrial level.

Palabras claves: berenjenas, procesamiento mínimo, pardeamiento, tratamientos antioxidantes.

Keywords: eggplants, minimal processing, browning, antioxidant treatments.

1 INTRODUCCIÓN

La berenjena (*Solanum melongena* L.) es un fruto no climatérico perteneciente a la familia de las solanáceas y se caracteriza por su elevado contenido de compuestos bioactivos, los cuales tienen efectos benéficos para la salud humana (García-Salas et al., 2014) ya que se han asociado con una menor incidencia y tasas de mortalidad por cáncer y enfermedades cardiovasculares (Raigón et al., 2008). En este sentido, la berenjena se considera la mejor fuente de ácidos fenólicos, dentro de los miembros cultivados de las solanáceas (Helmja et al., 2007).
Sin embargo, el alto contenido de los mismos también trae algunas desventajas, como el pardeamiento acelerado en la fruta cortada (Wong et al., 2021). Esta alteración afecta principalmente la apariencia del producto, atributo sumamente importante ya que es la primera impresión que el consumidor recibe y determina la aceptación, y eventual compra del mismo (Rodríguez et al., 2015). Según lo informado por Plazas et al. (2013), la presencia de antioxidantes en berenjena como el ácido ascórbico, puede llegar a cumplir una función protectora frente al deterioro enzimático en algunas variedades.
Es por ello que resulta necesario aplicar tratamientos de conservación, ya sea de manera individual o combinados, de forma tal que permitan prolongar su vida útil, buscando principalmente reducir el pardeamiento.

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar diferentes tratamientos antioxidantes que posibiliten procesar las berenjenas como IV gama y mantener su calidad durante el almacenamiento refrigerado.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Preparación de la muestra

Berenjenas (*Solanum melongena* L.) del cv. Black Nite se obtuvieron de productores de Santiago del Estero, Argentina. Los frutos fueron seleccionados de acuerdo a tamaño y peso uniforme (300 g aproximadamente) y superficie lisa libre de imperfecciones. A continuación, se lavaron con agua potable, sanitizaron con agua clorada (150 ppm-3min), secaron y cortaron longitudinalmente en láminas de 1 cm de espesor. Inmediatamente, se sumergieron en agua potable por 5 min para eliminar los fluidos celulares de la superficie, y se secaron con papel absorbente en una superficie limpia. El proceso se llevó a cabo en una sala a temperatura controlada (16 °C ± 2 °C) en condiciones higiénico-sanitarias adecuadas.

En una primera etapa del estudio, las láminas se sumergieron por 3 min en diferentes soluciones antioxidantes a 4 °C: ácido cítrico (AC), ácido ascórbico (AA), cisteína (Cys) al 0,5 y 1% (p /v), y agua (control), seleccionando la más adecuada.

En la segunda etapa, se adicionó un tratamiento térmico con inmersión en agua a 30 y 50 °C por 1 min, en combinación con el mejor tratamiento antioxidante seleccionado en la etapa anterior.
Luego, las láminas se escurrieron y empaquetaron bajo atmósfera modificada pasiva como se describe más adelante.

2.2 Envasado

Se envasaron manualmente tres láminas de berenjena en bandejas de polipropileno (PP) de 17,4 cm × 13,8 cm × 4,8 cm (Cellpack SA, Santa Fé, Argentina) y se sellaron térmicamente con película de PP bi-orientado de 35 µm de espesor con una tasa de transmisión de O_2 5.000 $cm^3/(m^2.24h.atm)$, 18.000 cm^3 $CO_2/(m^2.24h.atm)$ y vapor de agua de 110 $g/(m^2.24h.atm)$ (datos proporcionados por INTI, Argentina), y luego se almacenaron a 4 °C por 8 días. Cada envase se consideró como una unidad experimental.

2.3 Evaluación sensorial

Durante el almacenamiento, 9 jueces capacitados evaluaron visualmente las láminas de berenjena. La apariencia general y el pardeamiento se puntuaron en una escala del 1 al 9, siendo 1: muy mala y 9: excelente. Las puntuaciones por debajo de 5 se consideraron el punto de corte para los atributos de calidad (Ghidelli et al., 2013).

2.4 Color

Los valores de color de la superficie de las muestras de berenjenas se determinaron utilizando un colorímetro Minolta CR-300 Chroma Meter (Osaka, Japón). Los parámetros de color, L* (luminosidad), a* (cromaticidad rojo-verde) y b * (cromaticidad amarillo-azul) fueron usados para calcular el índice de pardeamiento (IP) de la siguiente manera (Bal et al., 2011):

$$IP = \frac{(x-0{,}31)*100}{0{,}17} \quad (1)$$

Donde,

$$x = \frac{(a+1{,}75*L)}{(5{,}645*L+a-3{,}012*b)} \quad (2)$$

Para eso, se tomaron un total de 6 lecturas de ambos lados de cada lámina de berenjena de cada unidad experimental.

2.5 Contenido de ácido ascórbico

Para su determinación, 8 g de tejido fresco con 12

mL de solución de ácido tricloroacético (TCA) 6 % (p/V) se homogeneizaron. Luego, el homogenato se centrifugó durante 20 min a 4 °C y se tomó el sobrenadante (Kampfenkel, 1994). Alícuota de 200 µL del extracto se adicionó a 400 µL de tampón fosfato 0,2 M (pH 7). A continuación, se añadió 1 mL de TCA al 10 % (p/v), 800 µL de H_3PO_4 al 42 %, (v/v), 800 µL de 2,2'-dipiridilo al 4 % (en 70% v/v de etanol) y 400 µL de $FeCl_3$. La mezcla fue homogeneizada e incubada a 42 °C por 45 min y, finalmente, se midió la absorbancia a 525 nm con un espectrofotómetro UV-Visible (JASCO V-630). Un tubo sin muestra se utilizó como blanco; mientras que para la obtener una curva de calibración se empleó una solución de AA estándar. Los resultados se expresaron en mg de AA por 100 g de tejido fresco. Las determinaciones se realizaron por triplicado para cada tratamiento y tiempo de almacenamiento.

2.6 Análisis estadístico de datos

Los resultados fueron analizados por medio de un Análisis de Varianza (ANOVA), y las medias se compararon por la prueba de diferencias mínima significativa (DMS) a un nivel de significancia de 0,05. El programa estadístico utilizado para realizar el análisis estadístico fue el Infostat Versión 2011.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Selección de tratamiento antioxidante

3.1 Evaluación sensorial

Los resultados de apariencia general de las berenjenas IV gama tratadas con las diferentes soluciones antioxidantes se muestran en la Figura 1. Al inicio, este parámetro no mostró diferencias significativas ($P > 0,05$) entre los tratamientos estudiados. Sin embargo, al día 4 el control mostró una apariencia general inadecuada, ya que la puntuación de los jueces estuvo por debajo del valor límite aceptado para la comercialización (valor menor a 5). En cuanto a las muestras tratadas con AC, éstas evidenciaron una rápida disminución en la puntuación de este atributo sensorial durante el almacenamiento para ambas concentraciones, siendo incluso significativamente menor que el control, lo que resultó en una vida útil inferior a 2 días.

Por otro lado, las muestras tratadas con AA presentaron muy buenas puntuaciones al día 4. Sin embargo, al día 6 solo el tratamiento con AA al 1% presentó los valores al límite de aceptación para la comercialización (5,05 ± 0,30). Por lo tanto, las soluciones de AA se comportaron de manera diferente dependiendo de la concentración utilizada. En este sentido, Ghidelli et al. (2013) encontraron en caqui fresco cortado que las muestras tratadas con solución de AA al 2,25 % alcanzaron aproximadamente a los 5 días características al límite de aceptación comercial, mientras que las muestras tratadas con AA al 1,12 % lo hicieron aproximadamente a los 7 días.

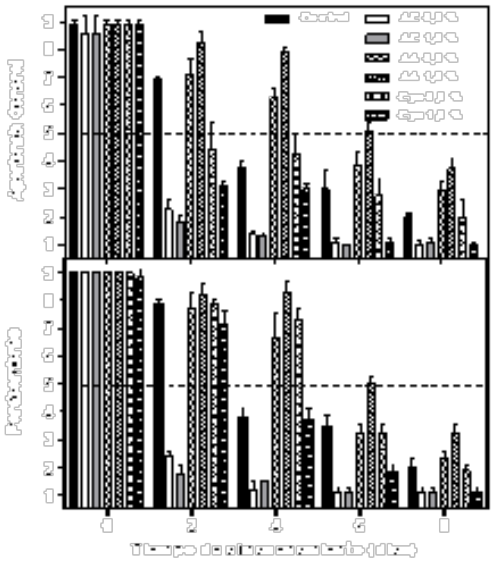


Figura 1. Evolución de Apariencia General y Pardeamiento de las berenjenas IV gama tratadas con diferentes soluciones antioxidantes y almacenadas a 4 °C.

Por otro lado, las muestras tratadas con Cys disminuyeron significativamente su aspecto general desde el segundo día. Además, este tratamiento en ambas concentraciones, no sería factible de aplicar desde el punto de vista comercial debido al olor no característico y desagradable generado en el producto (datos no mostrados) que se percibió al abrir los envases, además del cambio en el color de la piel y en la pulpa del producto, que se observó a lo largo de la conservación (rojo-rojizo) (Gorny et al., 2002; Perez-Gago et al., 2006).

En lo que respecta al atributo pardeamiento, este parámetro, con valor inicial de 9 para todas las muestras, disminuyó a través del tiempo, debido a los procesos oxidativos naturales que son particularmente altos en productos frescos cortados (Aguayo et al., 2015). Sin embargo, el pardeamiento de las berenjenas se redujo usando soluciones de antioxidantes con AA al 1%, con puntuaciones otorgadas más altas y, por lo tanto, la menor coloración parda de las muestras a lo largo del almacenamiento. Este tratamiento permitiría conservar las muestras hasta los 6 días, pues posteriormente se registraron valores de pardeamiento inferiores al establecido como límite para la comercialización.

De acuerdo con estos resultados, la solución de AA al 1% fue el mejor de los tratamientos evaluados.

Este tratamiento conservó la calidad visual de las berenjenas en láminas hasta los 6 días de almacenamiento a 4 °C, sin modificar los otros atributos sensoriales, tales como el sabor y el olor.

3.2 Parámetros de color

La evolución de los parámetros de color L * e IP de las láminas de berenjena tratadas con diferentes soluciones antioxidantes se muestran en la Tabla 1. Los valores iniciales de L* de las muestras oscilaron entre 79,54 y 81,02. El control presentó valores de L* estables durante 4 días, y luego disminuyó significativamente durante el almacenamiento. Por otro lado, las muestras tratadas con AC, registraron valores de L* significativamente menores que el resto de las muestras evaluadas luego del día 2, y mantuvieron esa diferencia hasta el sexto día, lo que indicaría que éste tratamiento generó una mayor disminución de este parámetro, por lo tanto, un mayor oscurecimiento del tejido vegetal tratado con éste antioxidante. De acuerdo a ello, el AC no fue efectivo para inhibir el oscurecimiento de las berenjenas cortadas en láminas.

Respecto a las láminas tratadas con AA no se encontraron diferencias significativas entre estos tratamientos. Por lo tanto, el AA en ambas concentraciones permitió retardar el oscurecimiento de las berenjenas en láminas. De manera similar, Ghidelli et al. (2013), quienes trabajaron con berenjenas en cubos cv. Telma tratadas con soluciones de AA al 0,35 y 0,88 %, reportaron que los valores de L* fueron más altos que los de las muestras no tratadas (control).

En cuanto a los tratamientos con Cys, las muestras presentaron un comportamiento similar al de las tratadas con AA, es decir, valores de L* prácticamente estables en ambas concentraciones durante el almacenamiento. Sin embargo, estos valores disminuyeron significativamente al final del almacenamiento no encontrándose diferencias significativas entre ambos tratamientos.

Asimismo, Pérez-Gago et al. (2006) informaron una mayor efectividad de AA al 0,5 y 1,0 % en rodajas de manzana respecto de Cys al 0,1 %, 0,3 % y 0,5 %.

Por lo tanto, se puede inferir que los tratamientos más adecuados para minimizar el oscurecimiento, fueron el AA 0,5 y 1%, y Cys al 0,5%.

Con respecto a IP, se observó que tanto el control como las muestras tratadas con AC presentaron un aumento significativo durante el almacenamiento (Tabla 1). Sin embargo, el control registró valores más bajos que los tratados con AC hasta el día 6, no encontrándose diferencias significativas entre estos al final del almacenamiento. Esto concuerda con lo registrado en el parámetro L*, indicando que el uso de AC no resultó adecuado para inhibir el pardeamiento en las láminas de berenjenas.

Por otro lado, las muestras con AA al 1% presentaron valores inferiores de IP respecto de las tratadas con AA al 0,5 % y AC, a partir del segundo día, y de las muestras control a partir del día 4.

En cuanto láminas tratadas con Cys, el IP se mantuvo estable hasta el día 4 para ambas concentraciones, aumentando ($P < 0,05$) posteriormente. Sin embargo, al final del almacenamiento, el tratamiento con Cys 1% generó un valor de IP significativamente mayor en relación con las tratadas con 0,5 %. Esto se debería a los cambios más intensos de color observados en la pulpa de las berenjenas, producido por migraciones de pigmentos desde la cáscara, modificando el color verde amarillento normal a color rosado-rojizo mencionado anteriormente.

Tabla 1. Evolución de los parámetros Luminosidad (L*) e Índice de Pardeamiento (IP) de berenjenas IV gama tratadas con diferentes soluciones antioxidantes, durante su almacenamiento a 4 °C.

Parametros de color y tratamientos	Tiempo de almacenamiento a 4 °C				
	día 0	día 2	día 4	día 6	día 8
L*					
Control	80.03 ± 0.98 a A	80.99 ± 3.45 a A	77.54 ± 3.22 bc AB	73.57 ± 0.91 a B	67.15 ± 4.88 b C
AC 0.5%	79.85 ± 1.34 a A	78.21 ± 3.23 b B	68.71 ± 2.15 d C	70.01 ± 5.98 b C	62.32 ± 5.18 b D
AC 1.0%	79.54 ± 1.28 a A	78.19 ± 1.59 c B	62.51 ± 2.94 e C	63.06 ± 3.21 c C	60.31 ± 4.74 b C
AA 0.5%	80.38 ± 0.78 a A	79.07 ± 1.76 a A	76.60 ± 1.84 c AB	75.17 ± 5.07 ab B	70.77 ± 5.88 a C
AA 1.0%	81.02 ± 1.06 a A	79.58 ± 1.75 a A	79.98 ± 0.88 ab A	76.42 ± 2.83 a B	76.01 ± 2.78 a B
Cys 0.5%	80.64 ± 1.28 a A	78.73 ± 2.89 b B	80.51 ± 2.26 a A	76.42 ± 2.86 a AB	74.51 ± 2.25 a B
Cys 1.0%	80.57 ± 1.57 a A	79.68 ± 2.15 b A	79.68 ± 2.92 a A	73.66 ± 4.62 a B	68.11 ± 3.98 b B
IP					
Control	13.14 ± 1.48 b C	12.71 ± 3.79 c C	24.54 ± 1.52 c B	28.61 ± 1.71 b A	32.48 ± 2.26 a A
AC 0.5%	22.63 ± 2.07 a C	29.17 ± 3.41 a B	39.87 ± 2.49 a A	36.32 ± 2.55 ab A	35.41 ± 2.96 a A
AC 1.0%	24.18 ± 1.79 a D	30.04 ± 3.66 a C	41.55 ± 2.36 a A	38.23 ± 2.07 a B	35.53 ± 1.50 a C
AA 0.5%	15.26 ± 1.86 b C	26.49 ± 1.25 b B	26.59 ± 2.02 b B	32.25 ± 2.19 ab A	30.23 ± 2.01 ab A
AA 1.0%	11.63 ± 2.28 b B	11.74 ± 2.57 c B	14.55 ± 1.68 d B	22.50 ± 1.37 c A	25.17 ± 1.93 c A
Cys 0.5%	11.93 ± 2.92 b C	12.35 ± 2.07 c C	14.20 ± 1.80 d C	25.01 ± 1.80 c B	26.79 ± 2.19 b A
Cys 1.0%	13.38 ± 2.37 b C	12.97 ± 3.66 c C	16.29 ± 3.15 d C	22.93 ± 2.44 c B	32.17 ± 2.27 a A

Los promedios en la misma fila con diferentes letras mayúsculas o en la misma columna con diferentes letras minúsculas fueron significativamente diferentes según test DLS a $p < 0,05$.

Por lo tanto, los resultados descriptos demostraron que la solución de AA al 1% fue efectiva para reducir el pardeamiento enzimático por 6 días, y mantener los parámetros L* e IP con los menores cambios durante el almacenamiento refrigerado.

Para determinar si el tratamiento con AA al 1% generaba modificaciones en el sabor de las berenjenas, se evaluó éste atributo (datos no mostrados), comparándolo con muestras sin tratar. Para ello, se sometió a una cocción rápida en sartén asperjada con aceite de girasol y sin el agregado de sal, no registrándose diferencias significativas del

sabor entre ellos.

3.3. Contenido de ácido ascórbico

El ácido ascórbico juega un papel importante en la salud de las personas y es uno de los nutrientes más lábiles presentes en los alimentos, perdiéndose en gran parte durante el procesamiento de los vegetales (Kim et al., 2021. Por esta razón, es necesario evaluar y monitorear la influencia de los tratamientos aplicados sobre este compuesto. De este modo, el contenido de ácido ascórbico en las berenjenas IV gama tratadas con AA al 1 %, y en las muestras Control se muestran en la Fig. 2.

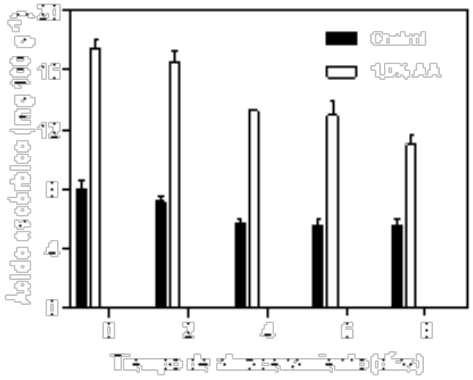


Figura 2. Evolución del contenido de ácido ascórbico (mg 100 g^{-1}) de berenjenas IV gama. DLS (0,05) = 0,48.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se determinó que inicialmente el contenido de ácido ascórbico en las muestras tratadas con AA al 1 % y el control fue de aproximadamente 17,5 y 8,0 mg 100 g^{-1} respectivamente, es decir, aproximadamente el doble de su valor. Durante el almacenamiento se registró una disminución significativa en ambos tratamientos, presentando valores siempre mayores ($P < 0,05$) las muestras tratadas con el antioxidante, alcanzando al final de la conservación, una reducción de aproximadamente un 44% en las tratadas con AA 1%, y del 38% en las muestras control. Sin embargo, su valor continúa siendo doblemente mayor en las muestras con el antioxidante.

De manera similar, rebanadas de pera tratadas con una solución de AA (2,0 %) + Lactato de Ca (1,0 %) + Cys (0,5 %) los niveles iniciales de ácido ascórbico fueron de aproximadamente 8 veces superiores que las muestras control (sin antioxidantes). Sin embargo, posteriormente disminuyeron al nivel del control sin registrar diferencias significativas (Gorny et al., 2002)

El incremento del contenido de ácido ascórbico se asoció a que el tejido de la berenjena presenta una estructura porosa, lo que podría favorecer la absorción del antioxidante, incrementando su contenido en la matriz del vegetal.

Combinación de tratamiento térmico y solución de AA 1%

3.4 Evaluación sensorial

Las puntuaciones de los atributos sensoriales (apariencia general y pardeamiento) de las berenjenas IV gama bajo los diferentes tratamientos combinados se muestran en la Fig. 3. Al analizar la apariencia general de las muestras, se registró que las sometidas a 50°C-1 min +AA 1% presentaron puntuaciones significativamente mayores respecto de 30°C-1 min +AA 1%, con valores por encima del límite de aceptación comercial por 8 días. Comportamiento similar se registró para el atributo pardeamiento, ya que al día 8 su valor fue de aproximadamente 5.49 ± 0.18. Sin embargo, las muestras sometidas a 30 °C-1 min, las puntuaciones fueron inferiores a 5 desde el día 6 en adelante, con lo cual la adición de este tratamiento no generó un efecto aditivo en cuanto a la conservación de la calidad de las berenjenas en láminas. Esto puede asociarse a que las temperaturas inferiores a 40 °C no logran reducir la actividad de la enzima PPO (Concellón et al., 2004).

Por lo tanto, la adición del tratamiento con agua a 50 °C- 1 min, preservó la calidad visual de las berenjenas IV gama por 8 días, incrementando en 2 días respecto de las muestras tratadas solo con AA 1%.

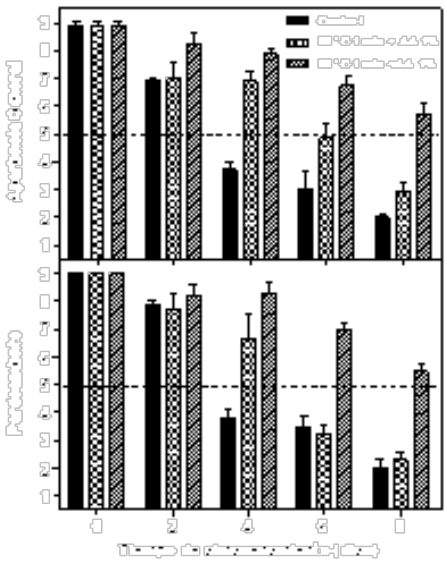


Figura 3. Evolución de Apariencia General y Pardeamiento de las berenjenas IV gama inmersas en agua caliente seguido de la solución de AA 1%, y almacenadas a 4 °C.

4. CONCLUSIONES

El tratamiento de inmersión en AA al 1% se consideró el mejor antioxidante, ya que puede reducir eficazmente el pardeamiento enzimático de las berenjenas en láminas, hasta 6 días de almacenamiento. Además, este tratamiento incrementó el contenido de ácido ascórbico duplicando su valor respecto de las muestras no tratadas.

Sin embargo, la combinación de inmersión en agua a 50 °C por 1 min, y la solución en AA al 1% por 3 min, fue la mejor condición de procesamiento para minimizar el pardeamiento por mayor tiempo, ya que incrementó en 2 días respecto del tratamiento con AA 1% sólo. Por lo tanto, estos tratamientos podrían ser una alternativa de barrera múltiple para preservar la calidad de las berenjenas IV gama por al menos 8 días.

5. REFERENCIAS

Aguayo, E., Requejo-Jackman, C., Stanley, R., Woolf, A. Hot water treatment in combination with calcium ascorbate dips increases bioactive compounds and helps to maintain fresh-cut apple quality. *Postharvest Biology and Technology*. 110: 158-165, 2015.

Bal, L. M., Kar, A., Santosh, S., Naik, S. N. Kinetics of colour change of bamboo shoot slices during microwave drying. *International Journal Food Science and Technology*. 46: 827–833, 2011

Concellón, A., Añón M. C., Cháves, A. R. Characterization and changes in polyphenol oxidase from eggplant fruit (Solanum melongena L.) during storage at low temperature. *Food Chemistry*, *88*: 17–24, 2004.

García-Salas, P., Gómez-Caravaca, A. M., Morales-Soto, A., Segura-Carretero, A., Fernández-Gutiérrez, A. 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. *Food Research International*, *57*: 114-122, 2014.

Ghidelli, C., Mateos, M., Rojas-Argudo, C., Pérez-Gago, M. B. Effect of antioxidants on enzymatic browning of eggplants extract and fresh-cut tissue. *Journal of Food Processing and Preservation*, *38*(4): 1501-1510, 2013.

Gorny, J. R., Hess-Pierce, B., Cifuentes, R. A., Kader, A. A. Quality changes in fresh-cut pear slices as affected by controlled atmospheres and chemical preservatives. Postharvest Biology and Technology, *24*: 271–278, 2002.

Helmja, K., Vaher, M., Gorbatšova, J., Kaljurand, M. Characterization of bioactive compounds ontained in vegetables of the Solanaceae family by capillary electrophoresis. Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. *56*: 172-186, 2007.

Kampfenkel, K., Van Montagu, M., Inzé, D. Extraction and Determination of Ascorbate and Dehydroascorbate from plant tissue. Analytical Biochemistry, *25*: 165–167, 1994.

Kim, A., Lee, K., Rahman, M. S., Kim, H., Kerr, W. L., Choi, S. Thermal treatment of apple puree under oxygen-free condition: Effect on phenolic compounds, ascorbic acid, antioxidant activities, color, and enzyme activities. Food Bioscience, 39, 100802, 2021.

Pérez-Gago, M. B., Serra, M., del Río, M. A. Color change of fresh-cut apple coated with whey protein concentrate-based edible coatings. *Phostharvest Biology and Technology*, 39: 84-92, 2006.

Plazas, M., López-Gresa, M., Vilanova, S., Torres, C., Hurtado, M., Gramazio, P., Andújar, I.,Herraiz, F., Belles, J., Prohens, J. Diversity and relationships in key traits for functional and apparent quality in a collectionof eggplant: fruit phenolics content, antioxidant activity, polyphenol oxidase activity, and browning. *J. Agric. Food Chem*. 61: 8871-8879, 2013.

Raigón, M. D., Prohens, J., Muñoz-Falcón, J. E., Nuez, F. Comparison of eggplant landraces and commercial varieties for fruit content of phenolics, minerals, dry matter and protein. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21(5): 370–376, 2008.

Rodríguez, S. del C., Gutiérrez, D., Sgroppo, S. C. Productos vegetales de IV gama. Aspectos generales. *Revista Simiente*, 85(1-2): 1-12, 2015.

Xian Wong, J., Ramli, S., Desa, S., Ngoh Chen, S. Use of Centella asiatica extract in reducing microbial contamination and browning effect in fresh cut fruits and vegetables. *LWT*, 151, 112229, 2021.

Estudio de la dinámica de carbono orgánico y sus componentes en suelos agrícolas de la zona de Bandera (sureste de Santiago del Estero)

Russó Ricardo.[1]; Sánchez, María.[1,2] y Galizzi Fernando.[1]

(1) Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero.
fgalizzi@unse.edu.ar; martinrusso2@hotmail.com

(2) INTA EEA Santiago del Estero.
macristi2411@gmail.com

RESUMEN

No hay información que muestre como han cambiado los contenidos de carbono organico y sus fracciones en función del tiempo en la zona de influencia de la AER Bandera. El objetivo fue estudiar los cambios en los contenidos de COS, COP, COA y stock de carbono en lotes agrícolas y suelo virgen. Se analizó si el cambio en el uso del suelo produjo una disminución en el COS y sus fracciones en lotes agrícolas. Se trabajó en seis establecimientos agrícolas que se manejan con SD y rotaciones. Los sitios estudiados tienen aproximadamente 30 años de uso agrícola. Los resultados mostraron que el COS disminuyó mientras que el COA se mantuvo constante, esta reducción estuvo asociada a una disminución en COP. El stock de carbono no mostró diferencias estadísticas debido al aumento en densidad aparente, 58 Mg C ha^{-1} en suelo virgen y 51 Mg C ha^{-1} en sitios agrícolas. La expresión del COS como stock induce a una conclusión diferente al contenido de C expresado en porcentaje. La disminución del COS está indicando que se debe comenzar a monitorear esta propiedad para implementar prácticas de manejo que ayuden a mantener y mejorar el secuestro de C en el suelo.

ABSTRACT

There is no information that shows how the SOC content and its fractions have changed as a function of time in the area of influence of the AER Bandera of the SE of Santiago del Estero. The objective was to study the changes in the contents of SOC, POC, AOC and carbon stock in agricultural lots and virgin soil. It was analyzed whether the change in land use produced a decrease in SOC and its fractions in agricultural lots. Work was done in six agricultural establishments that are managed with DS and rotations. The sites studied have approximately 30 years of agricultural use. The results showed that the COS decreased while the AOC remained constant, this reduction was associated with a decrease in POC. The carbon stock did not show statistical differences due to the increase in apparent density, 58 Mg C ha^{-1} in virgin soil and 51- Mg C ha^{-1} in agricultural sites. The expression of SOC as stock leads to a different conclusion than SOC in percentage. The decrease in SOC is indicating that monitoring of this property should be started to implement management practices that help maintain and improve C sequestration in the soil.
.

Palabras claves: COP – COA – stock -

Keywords: POC – AOC – stock

1 INTRODUCCIÓN

El contenido de carbono orgánico del suelo (COS) es un indicador clave para el manejo del suelo ya que está relacionado con propiedades químicas, físicas y biológicas (Quiroga y Funaro, 2004). Según Doran et al. (1996) es uno de los más importantes indicadores de la calidad del suelo y por ello es que es el atributo que con mayor frecuencia se utiliza en los estudios de largo plazo. Se los utiliza para evluar calidad (Gregorich et al., 1994) y sustentabilidad agronómica (Reeves, 1997).

Se sabe que al eliminar la vegetación original de un ecosistema y poner bajo cultivo, el COS disminuye (Álvarez y Steinbach, 2006). La agriculturizacion es un factor que impacta fuertemente en el contenido de COS (Álvarez, 2005; Banegas et al., 2007). Las prácticas agrícolas no sólo afectan su cantidad sino que controlan los retornos de ésta (Conteh et al., 1998). Los sistemas conservacionistas, al mantener cobertura vegetal sobre su superficie, mejoran las características físicas y químicas del suelo con respecto al laboreo convencional y constituyen valiosas herramientas para detener la degradación y mantener la calidad ambiental ya que reducen las pérdidas por erosión y facilitan el secuestro del carbono (Buschiazzo et al., 1996).

Los cambios en las prácticas de manejo y usos del suelo alteran el aporte de carbono, así como la dinámica y nivel de equilibrio del COS. Los cambios a largo plazo en el COS, producidos por las prácticas de manejo o el uso del suelo, pueden predecirse a través de cambios en el corto plazo de ciertos componentes mas labiles del COS (Duval et al. 2014).

Estudios llevados a cabo durante los últimos 25 años en diferentes regiones del mundo han demostrado la idoneidad de la agricultura conservacionista y en especial de la siembra directa SD para incrementar los niveles de carbono en la superficie del suelo y mejorar las propiedades (West y Post, 2002; Govaerts et al., 2009). Sin embargo, la tasa y magnitud del cambio depende de una serie de factores como son clima, suelo y las prácticas agrícolas como rotación de cultivos y manejo de residuos. La correcta elección de una combinación de rotaciones y labranzas puede ser una herramienta útil para reducir los riesgos de degradación del suelo y para maximizar la producción con el mínimo compromiso para el ambiente (Eiza et al., 2005).

La SD se caracteriza por mantener los rastrojos en superficie y eliminar las operaciones de laboreo lo que reduce la tasa de descomposición de los residuos (Salinas García et al., 1997; Manzo y Forjan, 2014). La no remoción del suelo y el mantenimiento de los residuos de cosecha en superficie bajo SD resultan en un mayor contenido de materia orgánica en las capas superficiales del suelo en comparación con la labranza convencional (Blevins y Frye, 1993; García y Rivero, 2008). Las rotaciones de cultivos presentan numerosas ventajas comparadas con los sistemas de monocultivo, como ser la posibilidad de acumular mayores cantidades de residuos de distinta calidad que representan significativos aportes de carbono para el suelo y mayor intensidad de uso del suelo y eficiencia de uso del agua (García y Rivero, 2008).

El contenido de carbono es una propiedad muy estudiada en trabajos de suelos en la provincia de Santiago del Estero. En la actualidad, además del COS, tratan de analizar las fracciones que lo componen para aclarar mejor su dinámica. Para la zona agrícola sin riego (secano) de la provincia hay estudios realizados por Angueira et al. (1999), Roldan et al. (2000) y Albanesi et al. (2003) quienes evaluaron los contenidos de COS, carbono organico particulado COP y carbono organico asociado COA en sistemas naturales y cultivados en el centro este de la provincia. Duffau et al. (2006) estudiaron para el Suroeste provincial COS y COP. Para la zona del Sureste provincial únicamente hay datos de COS y COA originados de un ensayo de larga duración de la Agencia de Extension Rural AER Bandera del INTA que fueron publicados por Prieto et al. (2006, 2007). Para el mismo suelo del ensayo Elías Tissera (2016) evaluó COS, COA, COP y carbono potencialmente mineralizable. No hay información que muestre como han cambiado los contenidos de COS y sus fracciones y la magnitud de su variación en función del tiempo a consecuencia del cambio en el uso del suelo en la zona circundante de la AER Bandera. El monitoreo de estas propiedades sirve para evaluar y comparar distintos sistemas de manejo de suelos y cultivos. El objetivo de este trabajo fue estudiar los cambios en los contenidos de COS y sus fracciones asociadas en distintos establecimientos agropecuarios ubicados en la zona de influencia de la AER Bandera en muestras de suelo pareadas, monte y agrícola. La hipótesis que se planteo fue que el cambio en el uso del suelo produjo una disminución en COS y COP en los lotes agrícolas.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Suelo serie bandera

Todos los establecimientos analizados se ubican en esta serie de suelo. Peña Zubiate et al. (1978) describen este suelo como un Haplustol típico, familia limosa fina, mixta e hipertérmica, desarrollado sobre materiales eólicos recientes (loess) en un relieve llano con vegetación natural dominado por el bosque y pastizales subordinados. El perfil es A_1 - A_2 – Bw – BC – Cca.

Sitios estudiados

Sitio 1. La Nueva Aurora: el campo comenzó a ser desmontado en 1992 y el lote muestreado se desmontó en 1993. Hace diez años se realizaba un manejo en el cual la rotación era con 50% con gramineas (maíz (*Zea mays*) o sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench)) y 50% soja (*Glycine max*). En los últimos 5 años se incorporó en la rotación trigo (*Triticum aestivum*) como cultivo de invierno. La rotación que se hace es trigo/soja - trigo/maíz -trigo/soja. El lote se maneja con siembra directa y se fertilizan con fuentes nitrogenadas. Tiene 27 años de uso agropecuario.
Sitio 2. La Ponderosa: en los últimos diez años se viene realizando una rotación consistente de: trigo/soja de 2ª -- maíz 1ª /soja 2ª -- trigo/maíz 2ª. El lote se maneja con siembra directa sin remoción del suelo y se fertilizan las gramíneas de la rotación con fuentes nitrogenadas. Tiene mas de 37 años de uso agropecuario.
Sitio 3. Colaneri. La Quinta. Hace diez años se realizan rotaciones con los cultivos maíz, trigo y soja. El lote se maneja con siembra directa, pero eventualmente realizan intervenciones mecánicas para controlar manchones de Sorgo de Alepo (*Sorghum halepense*) y otras malezas resistentes al glifosato. Se utilizó la rastra de cadena Giorgi para el emparejado de suelo ya que al cosechar en años de inundación el suelo quedó con huellas muy marcadas en el lote. Tiene 27 años de uso agropecuario.
Sitio 4. El Olvido. Hace diez años que se cultiva soja, maíz y trigo haciendo rotaciones soja -- trigo/soja 2ª – maíz, actualmente tiene soja. Se realiza siembra directa únicamente, no se hace ningún tipo de movimiento de suelo. Tiene más de 37 años de uso agropecuario.
Sitio 5. Guaycurú. Hace diez años se realiza soja, maíz y algodón (*Gossipium hirsutum*) como cultivos estivales; trigo, centeno (*Secale cereale*) y triticale (×*Triticosecale*) como cultivos invernales. En los últimos diez años como estrategia de manejo de suelo se incluyó en la rotación a los cultivos de cobertura (CC) como vicia (*Vicia villosa*) y centeno. El lote se maneja con siembra directa. Tiene más de 37 años de uso agropecuario.
Sitio 6. El Hangar. Corresponde al sitio donde el INTA inició un ensayo de rotación de larga duración. Tiene más de 37 años de uso agropecuario.

Muestreo del suelo y determinaciones

En cada sitio se muestrearon dos sectores, un lote agrícola y un sector con monte (suelo no cultivado, suelo prístino) a una profundidad entre 0 – 30 cm.
Densidad aparente (Dap): mediante un cilindro metálico. Se usaron cilindros de 100 cm^3 y se expresó en g cm^{-3}.
Carbono orgánico (CO): se determinó por el método de la combustión húmeda de Walkley – Black. Se expresó en % p/p.
Carbono organico asociado (COA) se determinó por la técnica de Cambardella y Elliott (1994) cuantificándose CO en muestras de la fracción mineral de diámetro <50µm.
Carbono organico particulado (COP) se estimó por diferencia. COP (%) = COS (%) – COA (%).
Carbono orgánico stock: se calculó mediante una fórmula. Se lo expresó en Mg por hectárea (Mg C ha^{-1}).
Cstock Mg ha^{-1} = COS (%) * Densidad aparente (Dap, Mg m^{-3}) * (3000 m^3/ 100).

Análisis de los datos

Los datos se analizaron mediante ANOVA. Las medias se contrastaron con el test de diferencia limite significativa (DLS, Fisher) con un nivel de significación de 0,05. Se usó el software InfoStat (Di Rienzo et al., 2013).

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Densidad aparente

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre monte y cultivo (Tabla 1). En la situación del monte, Dap es 1 g cm^{-3}. En los lotes agrícolas, el valor de Dap es aproximadamente 1,2 g cm^{-3}. No hay datos previos de Dap para esta serie de suelos (Peña Zubiate et al. 1978 y Prieto et al. (2006, 2007). Se sabe que los sistemas de labranza de conservación ayudan a controlar la degradación del suelo mejorando algunos aspectos físicos y condiciones biológicas (Wander y Bollero, 1999) pero causan un aumento de la compactación (Ferreras et al., 2000). Estos valores están en el orden a los obtenidos por Koritko et al. (2019) que mencionan 0,82 y 1,20 g cm^{-3} para una situación de monte y cultivo con 17 años de agricultura.

Carbono organico del suelo

Los valores de COS tienen diferencias estadísticamente significativas entre monte y cultivo (Tabla 1) aunque el Sitio 6 El Hangar el cual fue del mismo orden. En la situación monte, el máximo valor fue 2,4%, mientras que para la situación cultivo los valores están entre 1,0 y 1,8% con un promedio de 1,3% los cuales son similares a los valores obtenidos por Prieto et al. (2006, 2007).
En este análisis se supone como situación inicial al suelo del monte versus la situación actual sin tener la información detallada de lo que ha ocurrido en el transcurso de la historia de los lotes. Estos valores de COS más bajos en los sitios agrícolas podrían

explicarse por la modificación del balance de C ya que el aporte superficial de C de los residuos de cosecha y raíces bajo un manejo con SD y rotaciones no compensó las reducciones que se han producido previo a la instalación de este sistema de manejo conservacionista de SD y rotaciones. Ferreras et al. (2000) observaron que los contenidos de COS fueron siempre más bajos en los suelos cultivados que en los quasi-prístinos (monte u original) explicando que esta variación entre monte y cultivo se debe a la cantidad y calidad de los residuos.

Se observa una reducción del COS del orden del 31% en la situación cultivo respecto al monte. La mayor pérdida fue de un 33% en el sitio Colaneri, esto podría estar asociado a diversas causas, una de ellas puede deberse a las labranzas realizadas para borrar huellas producidas en la época de inundación. El COS es uno de los componentes que más se altera por las prácticas de manejo (Allmaras et al., 2000). El sitio agrícola con mayor contenido de carbono es la Ponderosa, esto puede deberse a los contenidos iniciales del suelo. El lote del Guaycurú también tuvo un valor alto en monte, con un valor de casi 2 %, pero en cultivo los valores obtenidos no se relacionan con los CC, Vicia y Centeno, ya que el lote con Centeno tiene menor COS que el que tiene Vicia. En base a los resultados obtenidos se concluye que hay una caída de COS en los suelos analizados. Hay variabilidad en el valor inicial del COS. Los efectos combinados de SD, rotación de cultivos, CC pueden haber contribuido de diferentes modos a mantener los valores de COS, pero estos efectos parciales no se han estudiado en este trabajo. Hay que tener en cuenta que la zona de Bandera tuvo problemas de inundaciones años atrás (2015 y 2017). Según Quiroga y Funaro (2004) las variaciones en las precipitaciones y los cambios en la capacidad de retención de agua afectan el contenido de COS del suelo.

El contenido actual del COS no depende únicamente del manejo sino de variados factores como son la interacción del suelo y las condiciones climáticas (Buschiazzo et al., 1998), de los niveles iniciales de COS (Fenster y Peterson, 1979), de las secuencias y rendimientos de los cultivos y de los aportes de residuos de cosecha (Havlin et al., 1990). Las diferencias en los porcentajes de reducción de carbono pueden estar influenciados por los valores iniciales de cada sitio y a los primeros manejos realizados con labranzas convencionales, monocultivo de soja, hasta que los productores adoptaron en la década del 90 la SD y rotaciones como un manejo conservacionista. En estos sistemas agrícolas, generalmente, las pérdidas por labranzas y tal vez por erosión (eólica) no fueron compensadas por las ganancias de carbono a través de la introducción de gramíneas y manejo de los rastrojos superficiales.

Stock de carbono organico del suelo

Para la serie Bandera no hay muchos estudios previos que informen stock de C. Solo se puede mencionar el trabajo de Andriulo et al. (2012) que para un suelo Haplustol típico de la zona de Bandera citan un rango de 68 hasta 49 Mg C/ ha. Según estos autores el stock de C se utiliza para comparar la reserva de COS entre manejos diferentes, suelos distintos y entre periodos de tiempo.

Los datos obtenidos expresan un promedio de 58 Mg C ha^{-1} en suelo virgen y 51 Mg C en lotes agrícolas sin ser estadísticamente diferentes (Tabla 1) . Los valores de Dap modifican fuertemente el valor del stock del carbono a través de la masa de suelo. Andriulo et al. (2005) encontraron un patrón de stock de carbono en sitios agrícolas en Argentina e indicaron que disminuye desde SE hacia NO de Argentina, en función de las precipitaciones, 69 Mg ha^{-1} en Buenos Aires hasta 41 Mg de C ha^{-1} en Santiago del Estero. Batjes (1999) estudió el stock de carbono en función de las zonas ecológicas del mundo y encontró grandes diferencias en el almacenamiento de COS en función de la temperatura y la lluvia e informa valores de COS (0-30 cm) entre 20 Mg ha^{-1} en las zonas áridas hasta 100 Mg ha^{-1} en las regiones polares.

Carbono Orgánico Asociado

No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las dos situaciones (monte y cultivo) lo cual estaría indicando que esta fracción estable del carbono no fue afectada por el manejo ni por las secuencias de los cultivos ya que es una fracción del COS más resistente al cambio del uso de las tierras (Tabla 1). Es una variable interesante de monitorear en el tiempo y para evaluar sistemas de manejo. El estudio del COS tiene sus limitaciones ya que en el suelo hay diferentes fracciones de carbono que tienen distintas funciones. Los suelos de esta zona poseen altos contenidos de arcilla (Peña Zubiate et al. 1978) por lo que se podría pensar que existe un gran porcentaje de COS físicamente protegido por los agregados, arcilla y humus. Galantini et al. (2002) indican que el manejo conservacionista con SD ayuda a mantener esta fracción estabilizada del carbono. Elías Tissera (2016) estudió para el sitio El Hangar el efecto de distintas rotaciones y no encontró diferencias significativas entre rotaciones para COA, pero menciona un valor medio de 1,28 % superior al encontrado en este estudio que fue de 0,8 %. Esta diferencia podría haberse originado en los diferentes espesores del suelo estudiados. Koritko et al. (2019) reportaron que COS, COA y COP disminuyeron significativamente en los sitios agrícolas con relación al monte, una disminución de 16% de COA y que se estabilizó a partir del sexto año de SD.

Carbono Orgánico Particulado

El COP fue estadísticamente menor para cultivo con respecto al monte (Taabla 1). La reducción del COS se puede explicar a que se ha perdido el carbono más lábil. Los datos obtenidos coinciden en general con Roldan et al. (2000) quienes obtuvieron en 7 años de uso agrícola, una reducción del 28 - 33% de COP y luego de 17 años las perdidas llegaron a valor de 45 - 51% del COP inicial. También Albanesi et al. (2003) observaron que el contenido de COP disminuyó un 35% después de 17 años de agricultura continua. Koritko et al. (2019) observaron una disminución de 60% de COP en situación de SD respecto a la situación original tanto a los 3 años de SD como a los 17 años de este manejo. En cambio, Elías Tissera (2016) encontró que un manejo de SD y rotación de cultivos tuvieron efectos positivos en los niveles de COP para el Sitio 6 El Hangar. La reducción porcentual del COP (66% en promedio de todos los sitios) en relación al valor inicial (monte) es mucho mayor que la variación del COS (31% en promedio de todos los sitios) coincidiendo con estudios que han informado una disminución de 50 a 100% para la fracción lábil y solo 2 - 12% de la fracción de carbono más estable (Vázquez, 2008). Esta disminución del COP en el cultivo es esperable ya que la acción antrópica genera ruptura de agregados y una mayor oxidación de la materia orgánica asociada a este tamaño de partículas (Hissink, 1995).

4 CONCLUSIONES

Existe una disminución del COS en los suelos agrícolas con respecto a los suelos vírgenes, el COA en el presente trabajo no varió, pero en cambio COP disminuyó. La expresión del C como stock induce a concluir que se mantiene la reserva de C pues tuvo el mismo orden en ambas situaciones.

La historia del lote y el manejo originaron diferencias en los contenidos de C que se explicarían por el manejo previo a la incorporación de la SD y las rotaciones.

Del estudio surge la recomendación de estudiar el balance de COS ya que el aporte superficial de C de los residuos de cosecha y raíces bajo un manejo con SD y rotaciones definen en qué medida mantienen o aumentan el COS y sus componentes asociados.

5 AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de invesigacion fue realizado dentro del marco de dos proyectos.

Proyecto disciplinario INTA "*Estrategias de producción que incrementen el secuestro de C en suelo para la mitigación del Cambio Climático*" Código 2019-PD-E3-I062-001.

Proyecto de investigación CICYT – UNSE "*Rotaciones y siembra directa en la zona del sudeste santiagueño: Evaluación de cambio en las propiedades del suelo"* Código: 23/A 196.

6 REFERENCIAS

Albanesi A., A. Anríquez, A. Polo Sánchez, Efectos de la agricultura convencional sobre algunas formas del C en una toposecuencia de la Región Chaqueña, Argentina. *Agriscientia* 20, 9 –17, 2003.

Allmaras, R. R., H.H. Schomberg, C.L. Douglas, T.H. Dao, Soil organic carbon sequestration potential of adopting conservation tillage in US croplands. *Journal of Soil and Water Conservation*, 55, 365-373, 2000.

Álvarez R., A review of nitrogen fertilizer and conservation tillage effects on soil organic carbon storage. *Soil Use and Management*, 21, 38-52, 2005.

Álvarez R., H.S. Steinbach, *Materia orgánica. Valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos.* En R. Álvarez (editor). 1ra ed. Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires, 256 páginas, 2006.

Andriulo, A. E., J.A. Galantini, G. Studdert, M.C. Sasal, M. Wilson, M. Basanta, S. Restovich, Existencias de carbono orgánico edáfico bajo diferentes usos y tipos de suelo. XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina, 2012

Andriulo, A. E., M.C. Sasal, A.B. Irizar, S.B. Restovich, F. Rimatori, Efecto de diferentes sistemas de labranza y secuencias de cultivo y de la fertilización nitrogenada sobre los stocks de C y N edáficos. Jornadas Nacionales "Materia orgánica y sustancias húmicas, 2005.

Angueira C., M.C. Sánchez, D.E. Prieto, D. Lurman, A. Avalos, J.L. Arzeno, Ensayos comparativos de labranzas: siembra directa – labranza convencional. IV Jornadas de Algodón. UNSE, Santiago del Estero, Argentina, 1999.

Banegas N. R., A.S. Albanesi, R. Pedraza, J.A. Nasca, M.R. Toranzos, Determinación de fracciones de carbono edáfico en un sistema pastoril bovino de la Llanura Deprimida Salina de Tucumán, Argentina, APPA - ALPA – Cusco. Perú. Lugar de publicacion: Sitio argentino de produccion animal (https://www.produccion-animal.com.ar/suelos_ganaderos/66-Banegas_carbono.pdf. Ultima consulta sept 2021).2007.

Batjes, N. H.,*Management options for reducing CO2- concentrations in the atmosphere by increasing carbon sequestration in the soil*. ISRIC. Wageningen, The Netherlands. 114 paginas, 1999.

Blevins R.L., W.W. Fry, Conservation tillage: an ecological approach to soil management. *Advances in Agronnomy*, 51, 33-78, 1983.

Buschiazzo D., J.L. Panigatti, F. Babinec, *Labranzas en la región semiárida argentina*, INTA, Buenos

Aires, Argentina, 124 páginas, 1996.
Buschiazzo D.E., J.L. Panigatti, P.W. Unger, Tillage effects on soil propietis and crop production in the subhumid and semiarid Argentineam Pampas. *Soil and Tillage Research* 49, 105-116, 1998.
Cambardella C.A., E.T. Elliott, Carbon and nitrogen dynamics of soil organic across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal*, 58, 123-130, 1994
Conteh A., G.J. Blair, I. J. Rochester, Soil organic carbon fractions in a vertisol under irrigated cotton production as affected by burning and incorporated cotton stubble. *Australian Journal of Soil Research*, 36, 655-667, 1998.
Di Rienzo J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. González, M. Tablada, C.W. Robledo, *InfoStat versión 2013*, Grupo InfoStat, FCA, UN de Córdoba, Argentina, *http://www.infostat.com.ar.* 2013.
Doran J.W., M. Sarrantonio, M.A. Liebig, Soil Health and Sustainability. *Advances in Agronomy* 56, 1996.
Duffau R.A., A. Anríquez, A.S. Albanesi, Carbono particulado en Haplustoles enticos y Haplustoles típicos. Lavalle Santiago del Estero. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. I Reunión de Suelos de la Región Andina. 12 al 22 de septiembre de 2006, Salta – Jujuy, Resúmenes página 197, 2006.
Duval, M. E., E. De Sa Pereira, J.O. Iglesias, J.A. Galantini, Efecto de uso y manejo del suelo sobre las fracciones de carbono orgánico en un Argiudol. *Ciencia del Suelo* 32, 105 – 115, 22014. *http://hdl.handle.net/11336/26034*
Eiza M.J., N. Fioriti, G.A. Studdert, H.E. Echeverría, Fracciones de carbono orgánico en la capa arable: efecto de los sistemas de cultivo y de la fertilización nitrogenada. *Ciencia del Suelo* 23, 59-67, 2005.
Elías Tissera, M. J., Rotaciones de cultivo en siembra directa: efectos en las fracciones de carbón del suelo. Trabajo final de intensificación para acceder al título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Universidad Nacional de Santiago del Estero. 71 páginas, 2016. Obtenido de internet. https://prezi.com/znwaasrmsngd/determinacion-de-fracciones-de-carbono-organico-en-un-sistem/). Ultimo acceso, sept de 2021
Fenster C.; G.A. Peterson, Effects of no-tillagefalow as compárate to conventional tillage in a wheat flow system. Nebraska. Agric. Exp. St. Res. Bull. 289, 1979.
Ferreras, L., J.L. Costa, F.O. García, C. Pecorari, Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern Pampa of Argentina. *Soil Till. Res.* 54, 31–39, 2000. . doi:http://dx.doi.org/ 10.1016/S0167-1987(99)00102-6.
Galantini J.A., R. Rosell, G. Brunetti, N Senesi, Dinámica y calidad de las fracciones orgánicas de un Hapludol durante la rotación trigo-leguminosas. *Ciencia del Suelo* 20: 17-26, 2002.
García A., C. Rivero C., Evaluación del carbono microbiano y la respiración basal en respuesta a la aplicación de lodo papelero en dos suelos de la Cuenca del Lago de Valencia, Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía (Maracay)* 34, 215-229, 2008.
Govaerts B., N. Verhulst, A. Castellanos-Navarrete, K.D. Sayre, J. Dixon, L.Dendooven, Conservation Agriculture and Soil Carbon Sequestration: Between Myth and Farmer Reality. *Critical Reviews in Plant Science* 28, 97-122, 2009.
Gregorich E.G., M. R. Carter, D.A. Angers, C.M. Monreal, B.H. Ellert, Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soil. *Canadian Journal of Soil Science* 74, 367–385, 1994.
Havlin J., D. E. Kissel, L.D. Maddux, M.M. Claasen, J. Long, Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen. *Soil Science Society of America Journal* 54, 448-452, 1990.
Koritko, L. M., R. A. Suárez, A.L. Anríquez, M. Pece, A.S. Albanesi, Efecto de la siembra directa en la estabilización del carbono orgánico del suelo a escala de sitio en Santiago del Estero, Argentina. *Revista Agronómica del Noroeste Argentino* 39, 9-18, 2019.
Manzo L., H. Forjan, Contenido de carbono orgánico luego de 15 años de agricultura con diferentes labranzas. XXIV Congreso argentino de la ciencia del suelo. II Reunión nacional "Materia orgánica y sustancias húmicas". Producción sustentable en ambientes frágiles. Bahía Blanca, 2014.
Peña Zubiate, C., J. Salazar, C. Scoppa, J. Musto, Carta de suelos de los Departamentos Belgrano y General Taboada, Santiago del Estero, INTA, Buenos Aires, 1978.
Prieto D.E., G.A. Angella, M.C. Sánchez, S. Prieto, C. Angueira, L. R. Acuña, R. Salgado, J. Salvatierra, M. Valoy, Sistemas agrícolas sostenibles. Ensayo de rotaciones en siembra directa El Colorado, departamento Juan Felipe Ibarra, Santiago del Estero. Informe de avance campaña 2005-2006. Proyecto regional llanura Chaqueña este. Módulo Producción vegetal y recursos naturales, 18 páginas, 2006.
Prieto D.E., O. Puig, G.A. Angella, M.C. Sánchez, C. Angueira, S. Prieto, L.R. Acuña, G. Coronel, Rotaciones de cultivos en siembra directa en el sudeste de Santiago del Estero. Análisis de rotaciones de cuatro campañas agrícolas. Informe

técnico. Proyecto PROSUSNOA "Evaluación de los recursos naturales y desarrollo de tecnologías para su uso sustentable en la región NOA". Módulo Santiago del Estero. Sub módulo: Desarrollo de tecnologías de manejo de recursos. 12 páginas. 2007. (obtenido desde internet en www.agrositio.com.ar, ultimo acceso sept 2021)

Quiroga A. y D. Funaro, Materia orgánica. Factores que condicionan su utilización como indicador de calidad en Molisoles, de las Regiones Semiárida y Subhúmeda Pampeana. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Actas, página 476, 2004.

Reeves D.W., The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil and Tillage Research* 43, 131-167.

Roldan S., G. Lorenz. C. L. Bonelli, Aspectos de calidad de la materia orgánica del suelo en función del uso de la tierra en el centro este santiagueño. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata. 11 al 14 de abril del 2000. Resúmenes. Comisión I – Panel N°54. 2000.

Salinas García J.R., F.M. Hons, J.E. Matocha, Long term effects of tillage and fertilization on soil organic matter dynamics. *Soil Science Society of America Journal* 61, 152-159, 1997.

Vázquez, M. Incidencia de la vegetación sobre aspectos cuantitativos y cualitativos de la materia orgánica del suelo. En J.A. Galantini (Editor), *Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la argentina*. Editorial de la Universidad Nacional del Sur. 307 páginas, 2008.

Wander, M. M., G.A. Bollero, Evaluación de la calidad del suelo de los impactos de la labranza en Illinois. *Soil Science Society of American Journal* 63, 961-971, 1999.

West T.O., W.M. Post, Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis. *Soil Science Society of American Journal* 66, 1930-1946, 2002.

Tabla 1: Valores de carbono orgánico del suelo (COS, %), carbono orgánico particulado (COP, %), carbono orgánico asociado (COA, %) y stock de C (Cstock, Mg ha^{-1}) para 6 sitios en dos situaciones, monte y cultivo y una profundidad de 0-30 cm

Sitio	Situación	COS %	COP %	COA %	Cstock Mg h^{a-1}	Dap g cm^3
1 -La Nueva Aurora	Monte	1,7	0,5	1,1	47	0,93
	Cultivo	1,2	0,1	1,1	46	1,23
2- La Ponderosa	Monte	2,3	0,8	1,5	74	1,05
	Cultivo	1,8	0,4	1,3	70	1,29
3- Colaneri	Monte	2,5	0,9	1,5	77	1,05
	Cultivo	1,5	0,1	1,4	52	1,15
4- El Olvido	Monte	1,5	0,3	1,1	49	1,10
	Cultivo	1,1	0,1	0,9	40	1,22
5- Guaycurú	Monte	2,1	0,8	1,2	65	1,05
	Cultivo 1	1,0	0,1	0,8	41	1,35
	Cultivo 2	1,6	0,6	0,9	65	1,36
6- El Hangar	Monte	1,3	0,5	0,7	37	0,96
	Cultivo	1,2	0,3	0,8	43	1,18
Promedio	Monte	1,9 a	0,6 a	1,21 a	58 a	1,02 a
	Cultivo	1,3 b	0,2 b	1,08 a	51 a	1,25 b

** Letras iguales indican que no hay diferencias con una probabilidad menor a 0,05.*

Estudio de las propiedades emulsionantes de concentrados de proteínas de suero caprino y bovino

Ayunta, Carolina[1]; Quinzio, Claudia[1]; Puppo, Cecilia[2] e Iturriaga, Laura[1]

(1) Centro de Investigación en Biofísica Aplicada y Alimentos (CIBAAL) CONICET-Universidad Nacional de Santiago del Estero.
anabelayunta@gmail.com; cmquinzio@hotmail.com; laura.iturriaga@gmail.com
(2) Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos (CIDCA) CONICET-Universidad Nacional de La Plata.
mcpuppo@gmail.com

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar la capacidad emulsificante de un concentrado de proteínas de suero de leche de cabra (CPSc) obtenido en el laboratorio y compararlo con un concentrado de proteínas de suero bovino (CPSb) de origen comercial. Para ello se prepararon emulsiones con aceite de girasol (natura®) a partir de soluciones de proteína, a pH 7. Se evaluó, el efecto de la concentración de CPS (1%, 2% y 3% (p/v)) y de la fracción volumétrica de la fase oleosa (φ) (0,2, 0,4 y 0,6) en el índice de actividad emulsionante (IAE), índice de la estabilidad de la emulsión (IEE), índice de cremado (IC) y potencial zeta, de las emulsiones.

Los resultados obtenidos muestran que el CPSc tiene buenas propiedades emulsionantes con respecto a su control bovino, y se podría utilizar como un ingrediente alternativo al CPSb, especialmente para aquellos alimentos que requieren proteínas de suero de leche para mejorar las propiedades emulsionantes y nutricionales.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the emulsifying capacity of caprine whey protein concentrate (CPSc) obtained in the laboratory and to compare it with a commercial bovine whey protein concentrate (CPSb). Emulsions with sunflower oil (natura®) were prepared from protein solutions, at pH 7. The effect of the CPS concentration (1%, 2% and 3% (w/v)) and of the volumetric fraction of the oil phase (φ) (0.2, 0.4 and 0.6), in the emulsifying activity index (EAI), emulsion stability index (ESI), creaming index (CI) and zeta potential, of emulsions.

The results show that CPSc has good emulsifying properties with respect to its bovine control, and could be used as an alternative ingredient to CPSb, especially in foods that require whey proteins to improve emulsifying and nutritional properties.

Palabras Claves: concentrado de proteínas de suero de leche-propiedades emulsionantes-estabilidad.

Keywords: whey proteins concentrate- emulsifying properties-stability.

1. INTRODUCCIÓN

El suero de leche es un subproducto obtenido durante la coagulación de la leche en la fabricación de queso o de la producción de caseína. Las proteínas del suero son muy valiosas porque contienen aminoácidos esenciales, como lisina, triptófano, metionina y cistina (Zayas, 1997), y se digieren con facilidad (Hoffman & Falvo, 2004). Sin embargo, el suero de leche posee un contenido acuoso muy elevado, lo que dificulta su aprovechamiento. Es por esto, que se deben aplicar tecnologías para recuperar las proteínas y obtener aislados de proteínas de suero (APS) o concentrados de proteínas de suero (CPS) en polvo. Los APS poseen un contenido de proteínas ≥ 90%, mientras que en los CPS varían entre 35 y 80% de proteínas. Tanto los CPS como los APS, son muy deseables como ingredientes nutritivos por sus beneficios para la salud humana, como así también, por las propiedades funcionales. Los APS poseen mejores propiedades funcionales que los CPS, sin embargo, el elevado costo para su obtención hace que los CPS sean los más empleados en la industria alimenticia. Son productos GRAS (General Recognized as Safe) y pueden ser usados como agentes emulsificantes, espesantes, gelificantes y espumantes. Los CPS son un ingrediente potencial y versátil en el desarrollo de nuevos productos alimenticios. Pueden funcionar como un modificador de la textura, agente espesante, portador/vehículo, agente gelificante, componente de superficie activa, y agente espumante entre otras bioactividades y funcionalidades asociadas (Janser Soares de Castro, et al., 2017). Las propiedades funcionales reflejan las propiedades fisicoquímicas intrínsecas de las proteínas, es decir, composición de aminoácidos y disposición de residuos de aminoácidos, conformación, tamaño molecular, forma, "flexibilidad", hidrofobicidad molecular, grupos químicos sustituyentes (fosfato esterificado, carbohidrato) y grupos sulfhidrilos.

Las emulsiones son sistemas coloidales en los que una fase líquida se encuentra finamente dividida dentro de una fase continua (Mc Clements, 1999). Estos sistemas son termodinámicamente inestables debido a su alta energía interfacial. Es por ello que a efectos de mejorar la estabilidad se emplean agentes emulsificantes que reducen la tensión interfacial e incrementan la estabilidad cinética. Estas sustancias presentan características anfifílicas que les permiten adsorberse en la interfase (e.g.: aceite-agua) y pueden ser de bajo o alto peso molecular. Entre las de alto peso molecular se encuentran las proteínas.

Las emulsiones de aceite en agua (O/W) forman parte de muchos alimentos procesados, como así también de productos farmacéuticos, cosméticos, productos de cuidado personal y agroquímicos. Las proteínas alimentarias que se encuentran en forma natural o añadida a un alimento, juegan un papel muy importante en la formación y estabilización de emulsiones. En particular, las proteínas del suero poseen una buena capacidad y estabilidad emulsionante porque son proteínas globulares con dominios en su estructura lo suficientemente flexibles que forman películas rápidamente y disminuyen la tensión superficial. Además de la ausencia del equilibrio apropiado de grupos hidrofóbicos e hidrofílicos (Yamauchi et al., 1980).

En la actualidad, existen numerosos estudios sobre las propiedades de los CPS de origen bovino, no así de los CPS de origen caprino. La leche de cabra es un recurso regional que se destina principalmente para la elaboración de quesos, y el suero obtenido se descarta o se utiliza para consumo animal. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la capacidad emulsificante de un concentrado de proteínas de suero de leche de cabra (CPSc) obtenido en el laboratorio y compararlo con un concentrado de proteínas de suero bovino (CPSb) de origen comercial.

2. MATERIALES

Para la elaboración del concentrado de proteínas del suero de leche de cabra (CPSc), se utilizó suero dulce (pH> 5,6) suministrado por una fábrica local de quesos de cabra (La Carola SRL, El Polear, Banda, Argentina). El CPSb comercial (PS-63) utilizado como muestra control fue suministrado por Arla Foods (Videbaek, Dinamarca).

3. MÉTODOS

3.1 Preparación del CPSc

El CPSc se obtuvo a escala laboratorio utilizando un proceso de ultrafiltración (UF). Se realizó un pretratamiento al suero centrifugándolo a 1300 × g durante 10 min a 4 °C con el objetivo principal de reducir el contenido de lípidos. Después de la centrifugación, el suero desnatado se ultrafiltró utilizando una membrana con un peso molecular de corte de 10 kDa y 200 cm^2 de área de filtración (Vivaflow 200, Sartorius, Göttingen, Alemania). Considerando el tiempo total del proceso y aumento de la viscosidad del concentrado, el proceso UF del suero quedo definido con un factor de concentración volumétrica (VCF) igual a 7. El VCF se define como la relación del volumen inicial de la solución de suero al volumen de solución concentrada (Cheryan, 1986). Para incrementar el contenido de proteínas del concentrado final, se realizó una diafiltración (DF) en cinco etapas discontinuas. La DF consiste en diluir con agua el concentrado y recircularlo en el proceso para incrementar la concentración proteínas

y reducir la concentración de sustancias de bajo peso. El concentrado resultante después de los procesos UF y DF se liofilizó utilizando un liofilizador Lyph-LockTM (Labconco Corporation, Kansas City, EE. UU.). La composición química del CPSc fue informada en nuestro trabajo previo (Ayunta et al., 2019).

3.2 Preparación de las emulsiones

Las emulsiones de aceite en agua (O/W) se prepararon mezclando diferentes proporciones de aceite de girasol natura® con soluciones de CPS (1%, 2% y 3% (p/v)) para obtener emulsiones con fracciones volumétricas (φ) de 0,2, 0,4 y 0,6 como se muestra en la Tabla 1. Las soluciones de proteínas fueron disueltas a pH 7 en un buffer fosfato de potasio 10 mM y se dejaron reposar 24 h en la heladera para completar su hidratación. La emulsificación se llevó a cabo a 20.000 rpm durante 5 min utilizando un homogeneizador Ultra-Turrax T25 (IKA Labortechnik, Staufen, Germany) a 25 °C. Una vez obtenida las emulsiones fueron caracterizadas por los métodos que se detallan a continuación.

Tabla 1. Composición de las emulsiones (o/w) elaboradas con soluciones de concentrado de proteínas de suero/ aceite.

Emulsión	CPS (%p/v)	Fracción volumétrica (φ)	ml de solución de CPS	ml de aceite
1%-0,2	1	0,2	16	4
2%-0,2	2	0,2	16	4
3%-0,2	3	0,2	16	4
1%-0,4	1	0,4	12	8
2%-0,4	2	0,4	12	8
3%-0,4	3	0,4	12	8
1%-0,6	1	0,6	8	12
2%-0,6	2	0,6	8	12
3%-0,6	3	0,6	8	12

3.3 Propiedades emulsionantes

El índice de actividad emulsificante (IAE) se determinó por el método de Pearce y Kinsella (1978), se pesó 0,1 g de emulsión recién preparada y se agregó 19,9 ml de una solución de dodecilsulfato de sodio (SDS) al 0,1% (p/v) preparada en el buffer fosfato pH 7, y se midió la absorbancia a λ=500 nm usando un espectrofotómetro UV–visible Jasco V630.

Para la determinación del índice de estabilidad de la emulsión (IEE), las emulsiones preparadas se mantuvieron refrigeradas durante 24 h y luego se tomaron alícuotas siguiendo el mismo procedimiento descrito anteriormente. El índice de actividad emulsionante (IAE, m^2/g) y el índice de estabilidad de la emulsión (IEE, %) de las emulsiones preparadas con CPS se calcularon usando las Ec. (1) y Ec. (2):

$$\text{IAE}\ (m^2/\text{g}) = \frac{(4.406 * A * D)}{(L * \varphi * C)} \quad (1)$$

$$IEE\ (h) = \frac{T\ x \Delta t}{\Delta T} \quad (2)$$

Donde C es concentración de la solución (g/m^3), A es la absorbancia a 500 nm, D es factor de dilución (adimensional), L el camino óptico (m) y φ es la fracción volumétrica de la fase dispersa. T es la turbidez a tiempo 0, □T es el cambio en la turbidez durante el periodo de almacenamiento y □t es el intervalo de tiempo.

3.4 Índice de cremado

Para evaluar la estabilidad de las emulsiones en el tiempo, se colocaron las emulsiones en probetas graduadas de 10 ml con tapas para evitar la evaporación. Se agregó azida de sodio (0,1% p/v) para evitar el crecimiento microbiano. Las muestras se almacenaron en una estufa a 30 °C durante 28 días. Las emulsiones se separaron en una capa superior de crema y una capa inferior de suero (Hs). Se midió la altura de la fase suero (Hs) y la altura total de la emulsión (Ht) durante el tiempo de almacenamiento. El índice de cremado (IC) fue calculado según (Keowmaneechai & McClements, 2002) con la siguiente ecuación:

$$IC\ (\%) = \frac{Hs}{Ht} x100$$

3.5 Potencial Zeta

Para la medición del potencial zeta se tomaron alícuotas de 25 µl de emulsión fresca y se diluyó con buffer fosfato de potasio a pH 7 hasta 25 ml. El potencial zeta de la emulsiones fue medido en el analizador de partículas Horiba SZ-100. Los resultados de cada medición son el promedio del potencial zeta de 30 partículas. Las mediciones se realizaron por triplicado**.**

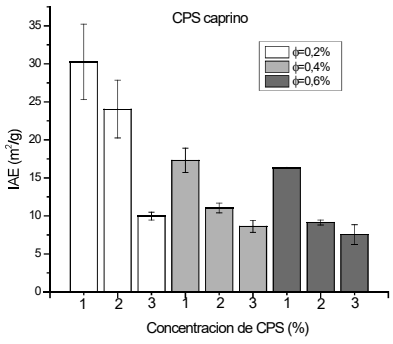
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Propiedades emulsionantes

El IAE indica el grado en que las proteínas pueden cubrir la superficie de una gota de aceite dentro de una emulsión diluida, mientras que el IEE da una estimación de la estabilidad de la emulsión en función del tiempo (Pearce y Kinsella, 1978). Los valores de IAE (m^2/g) de las emulsiones O/W elaboradas con CPS caprino y bovino a diferentes

fracciones volumétricas (0,2, 0,4 y 0,6%) en función de la concentración de CPS (1, 2 y 3%) se muestran en la Figura 1.
El IAE fue similar para ambos CPS, a excepción de la φ=0,2 en las concentraciones de 1 y 2% de CPS caprino, que mostraron mayor IAE.
El IAE disminuyó con el aumento de la concentración de proteínas en ambos CPS, esto indicaría que a bajas concentraciones de proteínas los CPS presentan buena capacidad emulsionante, principalmente el CPSc. Resultados similares han sido obtenidos por Singh et al. (2003) en emulsiones estabilizadas con caseinato de sodio. La estabilidad de las emulsiones de caseinato al 0,5% fue mejor que la preparada con una solución de caseinato al 3%, estos resultados fueron atribuidos a la presencia de una cantidad excesiva de moléculas de proteínas no adsorbidas, que promovieron la floculación de las partículas de la emulsión a través de los mecanismos de formación de puentes y depleción.

Por otra parte, Sanmartín et al. (2013) informaron un valor de IAE mayor (19,30 m^2/g) para emulsiones de CPSc con 2% de proteínas y fracción volumétrica de 0,75, esta diferencia, podría deberse que realizaron la homogenización en dos etapas, utilizando en primera instancia un homogeneizador de vástago y posteriormente un homogeneizador de alta presión. Este procedimiento les permitió obtener gotitas de aceite más pequeñas y la formación de emulsiones más estables. Sin embargo, cabe destacar que las comparaciones son difíciles ya que existen numerosos factores que afectan a la formación de una emulsión, tales como el tiempo e intensidad de la emulsificación, tipo de homogeneizador empleado, concentración proteica, pH, volumen y tipo de aceite (Tornberg y Hermansson, 1977; Pearce y Kinsella, 1978).



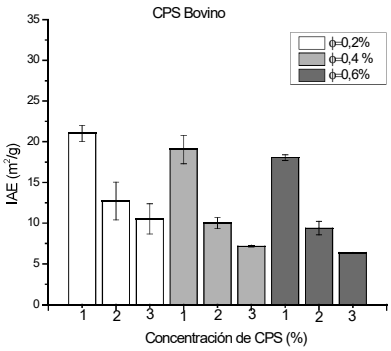


Figura 1: Efectos de la concentración del concentrado de proteínas de suero (%) y la fracción volumétrica de la fase oleosa en el índice de actividad emulsionante (IAE). A) CPSc y B) CPSb.

El IEE es un parámetro eficaz para la evaluación de la estabilidad relativa de las emulsiones estabilizadas con biopolímeros como proteínas después de un cierto tiempo de almacenamiento.
En la Figura 2 se muestra el IEE (%) de las emulsiones en función de la concentración de CPS para las diferentes fracciones volumétricas. Las emulsiones elaboradas con CPSb fueron más estables e independientes de la concentración de proteínas y del volumen de fase dispersa, respecto de las emulsiones preparadas con CPSc. Por el contrario las emulsiones con CPSc mostraron dependencia de la concentración de proteínas, principalmente a la menor fracción volumétrica. La estabilidad de las emulsiones está positivamente correlacionada con la solubilidad, lo que demuestra el papel trascendental de las proteínas solubles en la emulsificación (Patel y Kilara, 1990). Sin embargo no son necesarios valores de solubilidad del 100% (Damodaran, 2005), ya que esta propiedad aunque es un requisito, no es el único parámetro que determina o contribuye a la estabilidad de una emulsión. (De Wit y De Boer, 1975). Los CPS mostraron elevada solubilidad entre 85 y 95% a pH 7, para CPSb y CPSc, respectivamente (Ayunta et al., 2019), con lo cual se Hubieran esperado estabilidades similares. Las diferencias podrían deberse a otros factores como el proceso de obtención de los CPS, ya que el CPSc fue liofilizado, mientras que el CPSb es obtenido por secado spray.

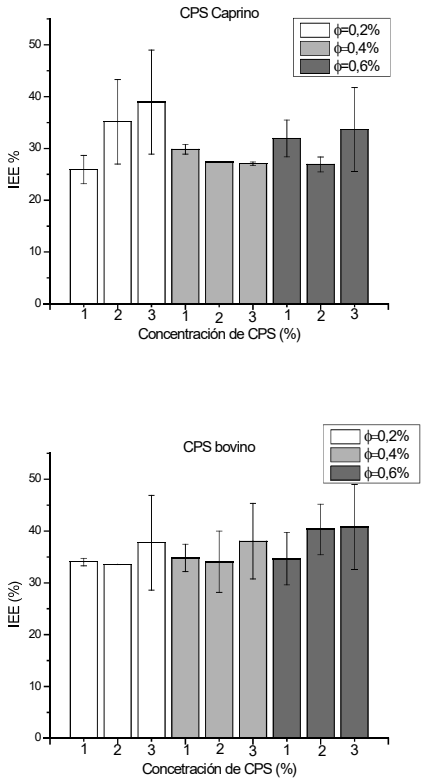


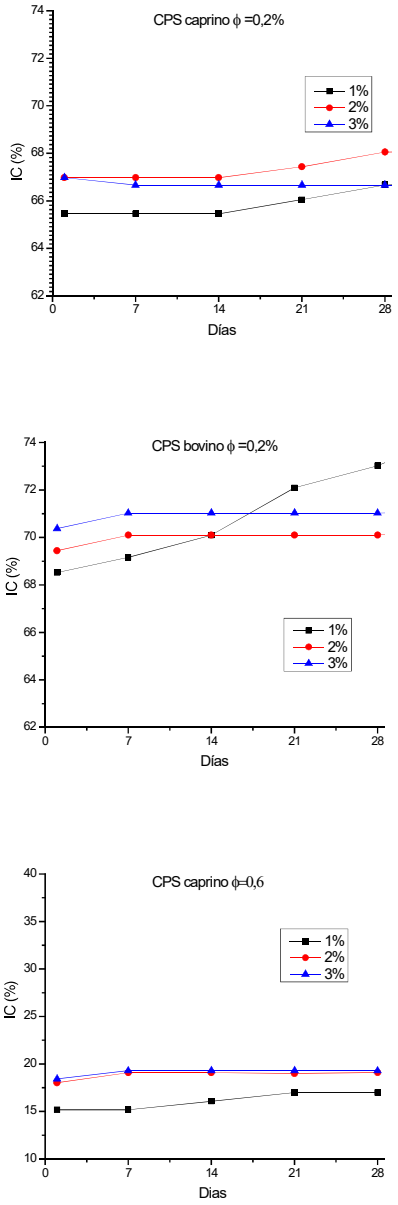
Figura 2: Efectos de la concentración del concentrado de proteínas de suero (%) y la fracción volumétrica de la fase oleosa en el índice de estabilidad de la emulsión (IEE). A) CPSc y B) CPSb.

4.2 Índice de cremado

El índice de cremado (IC) provee información indirecta sobre el grado de agregación de las gotas de una emulsión, cuanto mayor es la agregación, más rápido será el cremado (Sun y Gunasekaran, 2009).
El IC (%) versus el tiempo de almacenamiento se muestran en la Figura 3 en función de la concentración de CPS y de la fracción volumétrica de la fase oleosa. En la figura se observa que el IC disminuye con el aumento de la fracción volumétrica de la fase oleosa, en ambos CPS, esto podría deberse al aumento en la fracción de empaquetamiento de las gotitas de aceite (Dickinson & Golding, 1997), lo que incrementó la viscosidad de la emulsión y redujo la tasa de cremado. El IC fue menor en las emulsiones elaboradas con CPSc en todas las fracciones volumétricas e independientes de la concentración principalmente en las concentraciones de 2 y 3 %. No obstante, el aumento de la concentración de CPSb, aumento la cobertura de la superficie de las gotas de aceite, lo que redujo el IC.

Un incremento en la concentración de CPSc aumentó ligeramente el IC en todas las fracciones volumétricas, a excepción de las emulsiones con CPSb y fracción volumétrica de 0,6.

Todas las emulsiones, presentaron cremado a partir del día 1 y precipitados de proteína agregada a partir del día 7, lo cual podría deberse a una insolubilización de las proteínas en la fase acuosa. Se observó coalescencia en las emulsiones con 1 % (p/v) de CPSb para fracciones volumétricas de 0,6.



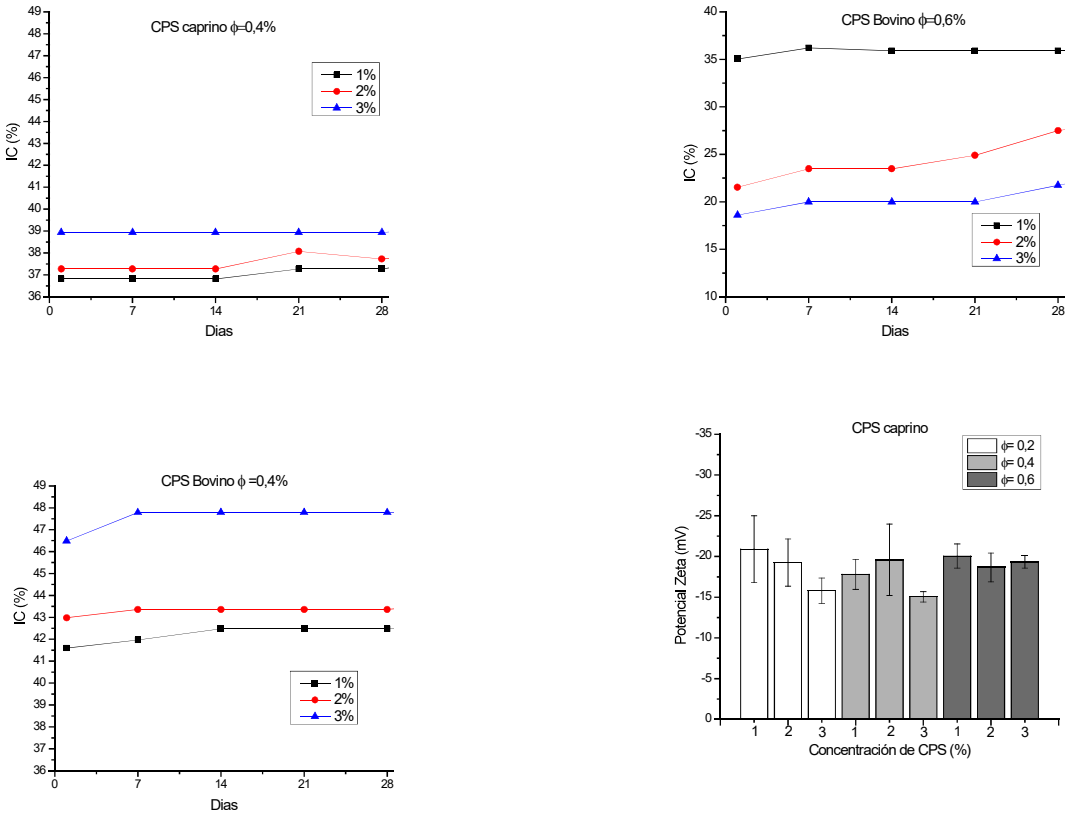


Figura 3: Efectos de la concentración del concentrado de proteínas de suero sobre el índice de cremado (IC) en las emulsiones o/w.
A) emulsiones con φ=0,2; B) emulsiones con φ=0,4; y C) emulsiones con φ=0,6.

4.3 Potencial Zeta

El potencial zeta no es una medida directa de las cargas superficiales, pero refleja la carga neta de las gotas dentro del plano de corte (Sun & Gunasekaran, 2009).
En la Figura 4 se observa que la carga superficial de las gotas en las emulsiones elaboradas con CPSc no se vio afectado por la fracción volumétrica ni por la concentración de proteínas, sin embargo, en las emulsiones con CPSb se observó un aumento de la carga neta con el incremento de la fracción volumétrica y de la concentración de CPS, en especial en φ=0,2. La adsorción de más CPS en las gotas de aceite contribuye a valores más negativos de potencial zeta (Sun & Gunasekaran, 2009).
El aumento de la concentración de CPSb mejoró la adsorción de las proteínas en las gotas de aceite debido a la disponibilidad de más CPS para formar la película interfacial, lo que contribuyó a cargas más negativas alrededor de las gotas.

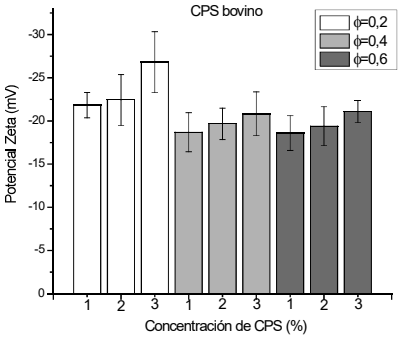


Figura 4: Valores de potencial zeta (mV) en las emulsiones O/W, en función de la concentración de concentrado de proteínas de suero y de la fracción volumétrica de la fase oleosa. A) CPSc y B) CPSb. Las barras de error muestran las desviaciones estándar de los valores medios del potencial.

5. CONCLUSION

En este trabajo fue posible recuperar las proteínas del suero de leche de cabra y elaborar un CPSc empleando una tecnología sencilla y relativamente de bajo costo. Las propiedades emulsificantes similares al CPSb, indican que el CPSc podría ser un buen sustituto al CPSb y que se podría emplear en diferentes tipos

alimentos.
Los resultados muestran que el CPSc tiene buenas propiedades emulsionantes, aun a baja concentración (1% p/v), con respecto a su control bovino. Las emulsiones preparadas con CPSc presentaron mayor IAE, menor IC y valores de índice de estabilidad y potencial zeta similares a los presentados por el CPSb.

6. REFRENCIAS

Ayunta, C. A., Quinzio, C. M., Puppo, M. C., y Iturriaga, L. B. Physicochemical properties of caprine and commercial bovine whey protein concentrate, *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13, 2729–2739, 2019.

Cheryan, M., *Ultrafiltration Handbook* Technomic Publishing Co, Lancaster, 1986.

Damodaran, S. Protein stabilization of emulsions and foams, *Journal of Food Science*, 70(3), 54-66, 2005.

De Wit, J.N. y De Boer, R., Ultrafiltration of cheese whey and some functional properties of the resulting whey protein concentrate. *Netherlands Milk and Dairy Journal*, 29(2/3), 198-211, 1975.

Dickinson, E., y Golding, M. . Rheology of sodium caseinate stabilized oil-in-water emulsions, *Journal of Colloid and Interface Scienc*e, 191, 166–176, 1997.

Hoffman, J. R., & Falvo, M. J. Protein–which is best? *Journal of Sports Science & Medicine*, 3(3), 118, 2004.

Janser Soares de Castro, R., Fontenele Domingues, M., Ohara, A., Kiyomi Okuro, P., Gonçalves dos Santos, J., Peres Brexó, R., & Harumi Sato, H. Whey protein as a key component in food systems: physicochemical properties, production technologies and applications (review). *Food Structure*, 2017. DOI: 10.1016/j.foostr.2017.05.004.

Keowmaneechai, E., y McClements, D. J. Influence of EDTA and citrate on physicochemical properties of whey protein-stabilized oil-in water emulsions containing $CaCl_2$, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 7145–7153,2002.

McClements, D. J. *Food emulsions: Principles, practice and techniques*. Washington: CRC Press, 1999.

Patel, M. T. & Kilara, A., Studies on whey protein concentrates. 2. Foaming and emulsifying properties and their relationships with physicochemical properties, *Journal of Dairy Science*, 73(10), 2731-2740, 1990.

Pearce, K.N., Kinsella, J.E., Emulsifying properties of proteins: evaluation of a turbidimetric technique, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 26, 716–723, 1978.

Sanmartín, B., Díaz, O., Rodríguez-Turienzo, L., Cobos, A., Functional properties of caprine whey protein concentrates obtained from clarified cheese whey. *Small Ruminant Reserch,* 110, 52-56, 2013.

Singh H, Tamehana M, Hemar Y, Munro PA. Interfacial compositions, microstructure and properties of oil-in-water emulsions formed with mixtures of milk proteins and k-carrageenan: 1. Sodium caseinate. *Food Hydrocolloids*, 17:539–48, 2003.

Sun, C. y Gunasekaran, S., Effects of protein concentration and oil-phase volume fraction on the stability and rheology of menhaden oil-in-water emulsions stabilized by whey protein isolate with xanthan gum, *Food Hydrocolloids*, 23 165–174, 2009.

Tornberg, E. & Hermansson, A.M., Functional characterization of protein stabilized emulsions: Effect of processing, *Journal of Food Science*, 42(2), 468-472, 1977.

Yamauchi, K., Schimizu, M., y Kamiya, T., Emulsifying properties of whey proteins*, Journal of Food Science*, 45:1237, 1980.

Zayas, J. F., *Functionality of Proteins in Food*, Springer-Verlag, Berlin, 1997.

Efecto de ozono gaseoso sobre la calidad microbiológica y la vida útil de rúcula cortada mínimamente procesada

Gutiérrez, Diego R. 1,2, Lemos Laura1,2, Farías, Mariana1,2 y Rodríguez, Silvia del C.1,2
(1) Grupo Conservación de Alimentos Vegetales-CIBAAL-CONICET-UNSE. RN 9 Km 1125. El Zanjón. (CP 4206) - Santiago del Estero. Argentina.
(2) ICyTA. Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Santiago del Estero-Argentina.
diegorgutierrez@hotmail.com

RESUMEN

En este trabajo se estudió el efecto de la aplicación de tratamientos con ozono gaseoso (1, 2, 5 y 10 ppm) sobre el crecimiento microbiano y parámetros de calidad de las hojas de rúcula (Eruca Sativa Mill.) cortada mínimamente procesada durante 12 días a 5 °C. Como control, muestras fueron lavadas con agua. Se estudiaron los atributos sensoriales (apariencia general, color y olor), intensidad respiratoria y la composición interna de gases en el envase, algunas características químicas tales como la clorofila a y b, clorofila total y carotenoides totales, y los recuentos microbianos a lo largo de la vida útil. Los tratamientos con O3 hasta concentraciones de 5 ppm, mantuvieron una buena calidad sensorial y no influyeron significativamente en los diferentes parámetros de calidad estudiados, y fueron efectivos en reducir significativamente la carga microbiana de microorganismos aerobios mesófilos y psicrófilos, de enterobacterias, así como de hongos y levaduras en rúcula cortada, hasta los 8 días de almacenamiento a 5 °C. Se recomienda aplicar el tratamiento con 2 ppm para la conservación poscosecha de rúcula cortada mínimamente procesada, ya que la concentración de 5 ppm no aportó un efecto adicional en la conservación y seguridad microbiológica del producto.

ABSTRACT

In this work, the effect of the application of treatments with gaseous ozone (1, 2, 5 and 10 ppm) on the microbial growth and quality parameters of fresh-cut rocket leaves minimally processed (Eruca Sativa Mill.) during 12 days at 5 °C were studied. As a control, samples were washed with water. Sensory attributes (general appearance, color and odor), respiratory intensity and headspace gas composition, some chemical characteristics such as chlorophyll a and b, total chlorophyll and total carotenoids, and the microbial counts throughout shelf-life were studied. The treatments with O3 up to concentrations of 5 ppm, maintained good sensory quality and did not significantly influence the different quality parameters studied, and were effective in significantly reducing the microbial load of mesophilic and psychrophilic microorganisms, of enterobacteria as well as fungi and yeasts in cut rocket, up to 8 days of storage at 5 °C. The treatment with 2 ppm was selected for the postharvest conservation of fresh-cut rocket leaves minimally processed, since the concentration of 5 ppm did not provide an additional effect on the conservation and microbiological safety of the product.

Palabras clave: ozono, conservación, calidad, rúcula.
Keywords: ozone, conservation, quality, rocket.

1 INTRODUCCIÓN

Los vegetales recién cortados o mínimamente procesados son componentes importantes de la dieta humana y en los últimos años la demanda de estos se ha incrementado significativamente en los consumidores por un mayor interés en dietas saludables y nutritivas (Fagundes et al., 2015; Torales et al., 2020). Durante la preparación de estos vegetales se llevan a cabo tales como pelado, cortado y rebanado, que dan como resultado tejidos dañados que provocan reacciones adversas que incluyen el desarrollo de olores no característicos, sabores desagradables, la decoloración y el ablandamiento de los tejidos (Artés-Hernández et al., 2009).). La rúcula (Eruca sativa) es ampliamente consumida como ensalada fresca o como parte de ensaladas mixtas en los países mediterráneos y también en Argentina y se distingue por su sabor único y ligeramente picante (Char et al., 2012). Su principal problema es la rápida senescencia que se manifiesta principalmente por el amarillamiento de sus hojas debido a la degradación de la clorofila (Gutiérrez et al., 2018). Con el fin de ofrecer vegetales seguros de alta calidad y para hacer frente a la demanda de los consumidores, los procesadores de alimentos deben aplicar técnicas eficientes de saneamiento (Artés et al., 2009). Durante los últimos años, la sanitización de alimentos utilizando ozono (O3) gana cada vez más la atención de la industria (Ong et al., 2014) debido a sus propiedades antimicrobianas contra bacterias, hongos, virus y también esporas bacterianas y fúngicas. El ozono, u oxígeno triatómico, se produce de forma natural a partir del oxígeno como resultado de la interacción de rayos o luz ultravioleta (Gutiérrez et al., 2016). El ozono (aprobado por US-FDA, 2001 para aplicación en alimentos) se descompone rápidamente en oxígeno y no deja residuos tóxicos, lo que lo hace atractivo y útil para la industria alimentaria (Karaca y Velioglu, 2014; Gutiérrez et al., 2019). Se han realizado varios estudios sobre la capacidad antimicrobiana del ozono y sus efectos sobre la calidad de diferentes productos como espárragos (Pretell-Vásquez et al., 2000), lechuga y espinaca (Karaca y Velioglu, 2014). El uso del ozono en la conservación poscosecha de hortalizas está creciendo actualmente, y su correcta aplicación puede retrasar la senescencia y extender la vida útil de cierto tipo de hortalizas como brócoli, lechuga y repollo (Aziz y Ding, 2018). Además, otros estudios demostraron que el ozono gaseoso puede tener un efecto positivo sobre los cambios en el contenido de componentes antioxidantes, tales como los flavonoides y otros compuestos fenólicos (Gutiérrez et al., 2019). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de tratamientos con ozono gaseoso sobre el crecimiento microbiano y parámetros de calidad de hojas de rúcula cortada mínimamente procesada durante su conservación refrigerada.

2 MATERIALES Y METODOS

2.1 Material vegetal

Las hojas de rúcula fueron cosechadas en el Departamento Capital de la provincia de Santiago del Estero, Argentina. Después de la cosecha, las hojas se transportaron al laboratorio donde fueron mínimamente procesadas, manteniendo la temperatura ambiente a 16 ºC hasta el momento de su procesamiento.
2.1 Preparación de las muestras, tratamientos y condiciones de almacenamiento
Las hojas que presentaban defectos como daños físicos, amarillamiento o deshidratadas fueron desechadas. Posteriormente, las hojas seleccionadas fueron lavadas con agua potable durante 1 min y drenadas sobre una malla de acero inoxidable. Luego se cortaron en tiras de 20 mm y se lavaron nuevamente por 2 min a 5 °C. A continuación, se escurrieron usando una centrifuga manual y luego se acomodaron en bandejas de polipropileno con 60 g de producto y posteriormente se aplicaron los siguientes tratamientos. La preparación de las muestras se realizó de acuerdo a Gutiérrez et al. (2018). T1 (Control): se prepararon bandejas con rúcula no tratada y fueron almacenadas bajo una AMP como se describe posteriormente. T2 (1 ppm): en este tratamiento las bandejas con rúcula cortada, se acomodaron dentro de la cámara de ozono y se sometieron a una concentración de 1 ppm de O3 gaseoso por 10 min. Posteriormente las bandejas con las hojas cortadas refrigeradas bajo una AMP como se describe luego. T3 (2 ppm): este tratamiento fue el mismo que T2 pero la concentración de ozono fue de 2 ppm por 10 min. T4 (5 ppm): este tratamiento fue el mismo que T2 pero la concentración de ozono fue de 5 ppm por 10 min. T5 (10 ppm): este tratamiento fue el mismo que T2 pero la concentración de ozono fue de 10 ppm por 10 min. Para realizar los tratamientos con O3, se utilizó un generador de descarga tipo corona (Generador de Ozono Bio3 Modelo: TDZ-1, Uruguay) con una capacidad de producción de 1 g h-1 de ozono, usando el aire como fuente de oxígeno. Este equipo utilizado fue descripto detalladamente en Gutiérrez et al. (2016). Para generar la atmosfera modificada pasiva (AMP), las bandejas fueron recubiertas con el film de polipropileno (PP) de 35 µm de espesor y selladas. Las velocidades de transmisión de O2 y CO2 a 25 °C y 90 % de humedad relativa de PP fueron: 5000 mL O2 m-2 24h-1 atm-1 y 18.000 mL CO2 m-2 24h-1 atm-1 y la velocidad de transmisión al

vapor de agua fue 110 g m-2 24h-1 atm-1 (datos proporcionados por INTI, Argentina). Todas las muestras se conservaron durante 12 días a 5 ºC. En los días 1, 4, 8 y 12 de almacenamiento se extrajeron al menos 3 bandejas de cada tratamiento para estudiar la evolución de los diferentes parámetros.

2.2 Intensidad respiratoria y composición interna de gases en el envase

La intensidad respiratoria (IR) de las muestras se determinó a 5 °C mediante el uso de un sistema cerrado hermético y provisto de un septum para extracción de muestras. Para ello 20 g de hojas se colocaron en frascos de vidrio de 500 mL, por triplicado. Las variaciones de CO2 fueron registradas a partir de 1 h después de cerrar los frascos. Se tomaron muestras de 1 mL de gas del espacio de cabeza de los frascos con una jeringa hermética y se analizaron en un cromatógrafo de gases (SRI 8610C, EE.UU), equipado con un detector de conductividad térmica (150 °C), la temperatura del horno fue de 80 °C y la del inyector de 150 °C. Se utilizó una columna Poropack-Q 80/100 (Waters, España) y He (20 mL min-1) como gas carrier. En cada tiempo de muestreo, se midieron las concentraciones de O2 y CO2 utilizando un analizador portátil de gases de O2 y CO2 (Checkpoint, PBI Dansensor, Ringsted, Dinamarca), tomando para ello 15 mL del espacio de cabeza de cada muestra, a través de un septum (parche sellador de silicona adherido a la película), utilizando la aguja del sensor. Tres envases de cada tratamiento se midieron en cada día de muestreo, inmediatamente a la salida de la cámara (5°C).

2.3 Análisis Sensorial

Un panel entrenado de ocho miembros realizó la evaluación sensorial de las muestras utilizando una escala de 9 puntos para la apariencia general, donde: 9 = excelente, 7 = bueno, 5 = aceptable (límite de aceptabilidad), 3 = pobre y 1 = extremadamente pobre. El color y el olor se evaluaron mediante una escala de 5 puntos, correspondiendo para el primero, 5 (verde) a 1 (amarillo), mientras que para el segundo, 5 (fresco o propio característico) a 1 (olores extraños intensos), siendo el límite establecido para la comercialización el valor de 3, como lo indica Gutiérrez et al. (2016).

2.4 Concentración de clorofila y carotenoides

Para la determinación de clorofila se trituró 0,4 g de muestra con 15 mL de acetona: agua (80:20, v/v), y se centrifugó a 12.000 rpm durante 15 min. El sobrenadante se utilizó para determinar la concentración total de clorofila, la clorofila a y b, y los carotenoides totales según Lichtenthaler (1987). La absorbancia (A) a 663.2, 646.8 y 470 nm se midió utilizando un espectrofotómetro UV-Visible (JASCO V-630). Las ecuaciones desarrolladas por Lichtenthaler (1987) se utilizaron para determinar los niveles individuales de clorofila a (Ca = 12.25 A663.2 – 2.79 A646.8), clorofila b (Cb = 521.5 A646.8 – 5.1 A663.2), donde la clorofila total fue calculada como (Ca + Cb) y carotenoides totales [Cx+c = (1000 A470 – 1.82 Ca – 85.02 Cb)/198]. El contenido de clorofila y carotenoides se expresaron como mg/100 g tejido fresco.

2.5 Análisis microbiológicos

La determinación de los recuentos microbianos (mesófilos, psicrotróficos, enterobacterias, hongos y levaduras) se realizaron de acuerdo a Gutiérrez et al. (2016). Muestras de 10 g de cada bandeja se colocaron en una bolsa estéril, y se les adicionó 90 mL de agua peptona tamponada estéril y se homogenizó en equipo Stomacher por 5 min. Luego se diluyó 1 mL de esta disolución en 9 mL de agua estéril y así sucesivamente, según las diluciones que fueran necesarias. Para determinar el recuento de mesófilos aeróbicos, se diseminaron 100 µl de la muestra diluida en agar de conteo en placa (APC) y se incubaron a 37 ºC durante 2 días, y a 6 ºC durante 7 días para el recuento de psicrófilos aeróbicos. Para el recuento de enterobacterias se utilizó el medio eosina de agar azul de metileno (EMB) y 37 ºC para la incubación de las placas durante 2 días; en el caso del recuento de hongos y levaduras, se utilizó el medio de cultivo agar papa dextrosa (PDA) con una temperatura de incubación de 25 ºC durante 7 días. Los recuentos microbiológicos se expresaron como el logaritmo de unidades formadoras de colonias por gramo de tejido fresco (log UFC/g).

2.6 Análisis estadístico de los datos

Los resultados fueron analizados por medio de Análisis de Varianza (ANOVA) usando el Infostat Versión 2011 (Universidad Nacional de Córdoba, Argentina). Todos los ensayos fueron realizados por lo menos tres veces. Las medias se compararon por la prueba de diferencias mínima significativa (DMS) a un nivel de significancia de 0,05.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. Intensidad respiratoria y composición interna de gases en los envases

En el día de procesamiento, el control presentó un incremento significativo (20%) en comparación con las muestras tratadas con ozono (Fig. 1). Luego, en el primer día de almacenamiento, se observó una disminución significativa (55-75%) de la IR en

todas las muestras. Posteriormente este parámetro se mantuvo prácticamente constante ($p > 0.05$) hasta los 12 días, no detectándose diferencias significativas entre las muestras tratadas con ozono y el control durante el almacenamiento. Nuestros resultados indican que el tratamiento con ozono no indujo un aumento de la intensidad respiratoria, y concuerdan con los reportados por Ong et al. (2014), quienes informaron que papaya tratada con concentraciones de O3 menores a 5 µL/L, presentó IR más lento con respecto al control. De manera similar a estos resultados, tratamientos de inmersion en agua ozonizada de 0,8 mg L-1 por 30 s y 20 mg L-1 no afectaron la respiración de lechuga y espinaca recien cortada, respectivamente (Beltrán et al., 2005; Papachristodoulou et al., 2018).

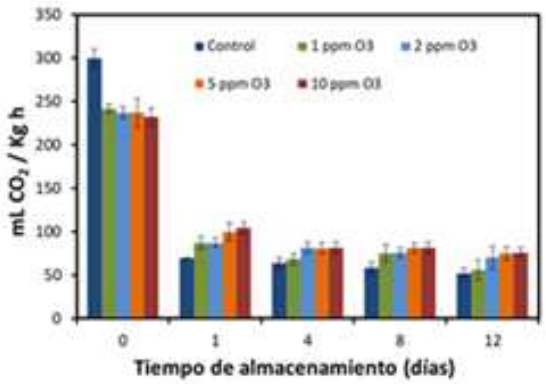


Figura 1. Evolución de la intensidad respiratoria de hojas cortadas de rúcula sin tratar y tratadas con diferentes concentraciones de O3 almacenadas a 5 °C durante 12 días.

Los cambios en las presiones parciales de O2 y CO2 en el interior de los envases durante el almacenamiento a 5 ºC se presentan en la Fig. 2. La rúcula luego de procesada, se almacenó en una atmosfera modificada pasiva y por lo tanto la composición inicial del gas fue 20,9 kPa O2 y 0,03 kPa CO2. Debido a la respiración de las hojas y a la permeabilidad del film, los niveles de O2 disminuyeron y los niveles de CO2 aumentaron en todas las bandejas durante la conservación. Al primer día de almacenamiento, la concentración de O2 disminuyó, alcanzando niveles entre 16 y 18 kPa y la del CO2 aumentó hasta el rango de 3 a 4 kPa para todos los tratamientos, y estos valores se mantuvieron estables hasta los 12 días. No se encontraron diferencias significativas entre el control y las muestras ozonizadas durante la conservación a 5 °C. Nuestros resultados están de acuerdo con lo reportado por Ölmez y Akbas (2009), quienes informaron que lechuga tratada con agua ozonizada (2 ppm) no presentaron diferencias significativas con respecto al control en la composición de gases durante los 12 días de almacenamiento a 4 ºC.

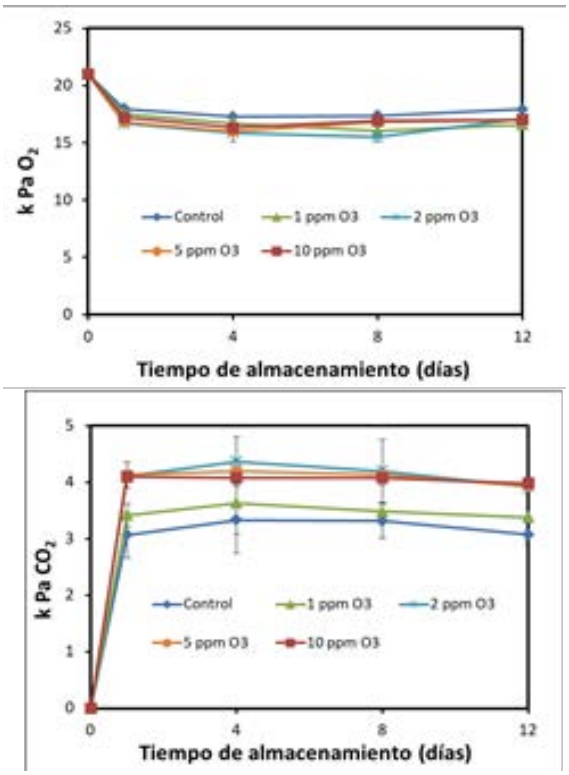


Figura 2. Evolución de la composición de gases en el interior de los envases de hojas de rúcula cortada sin tratar y tratadas con diferentes concentraciones de O3 almacenadas a 5 °C durante 12 días.

3.2 Análisis sensorial

En general, todas las muestras presentaron una disminución significativa de los atributos de calidad sensorial evaluados durante el almacenamiento. La apariencia general y color presentaron valores superiores al límite de aceptación para su comercialización durante los 12 días a 5 °C (Fig. 3), y al final del almacenamiento no se encontraron diferencias significativas entre las muestras tratadas con O3 y el control. Al evaluarse el atributo de olor, se registró una disminución durante el almacenamiento para todos los tratamientos, presentando valores superiores al límite previamente establecido, con excepción del tratamiento con 10 ppm, que en el día 8 presentó valores de aproximadamente 3. Al cabo de los 12 días, no se observaron diferencias significativas entre el control y las muestras tratadas con 5 ppm O3, mientras que el tratamiento con 10 ppm O3 presentó un puntaje por debajo del límite de aceptabilidad.

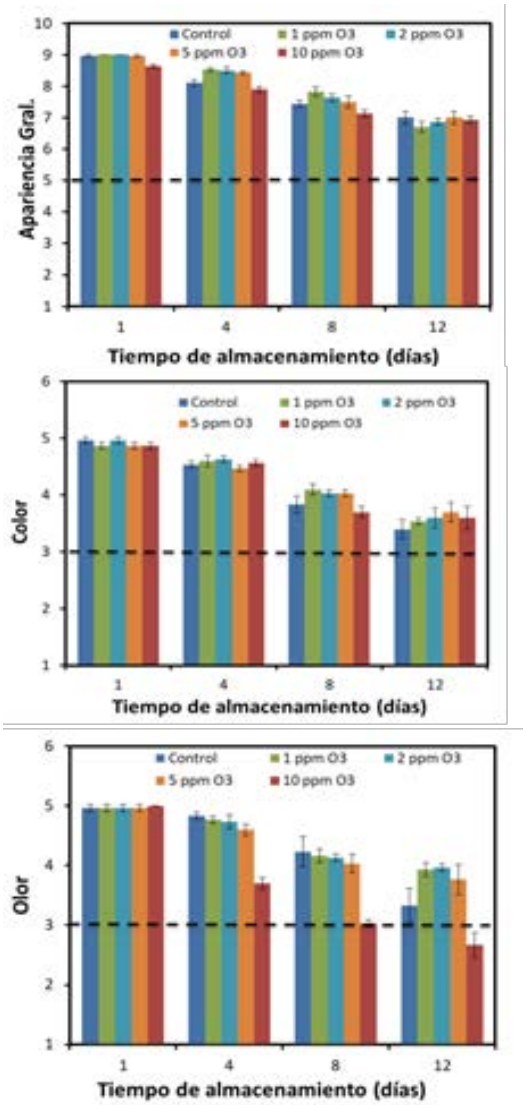


Figura 3. Evolución de los atributos sensoriales de hojas de rúcula cortada sin tratar y tratadas con diferentes concentraciones de O3 almacenadas a 5 °C durante 12 días. La línea horizontal indica el límite de aceptación por el consumidor.

Nuestros resultados están de acuerdo con Beltrán et al. (2005), quienes informaron que lechugas lavadas con agua ozonizada (10 y 20 mg L-1) y almacenadas en aire, mantuvieron una excelente calidad visual durante el almacenamiento refrigerado a 4 °C sin diferencias significativas en comparación con la calidad visual inicial. También Ali et al. (2014), encontraron que frutas de papaya tratadas con diferentes concentraciones de O3 (2.5 y 3.5 mg L-1) mostraron puntajes altos en los atributos sensoriales después de 12 días de almacenamiento a temperatura ambiente. De acuerdo a los atributos de calidad sensorial evaluados, la rúcula tratada con concentraciones de hasta 5 ppm O3 conservó los atributos sensoriales por encima del límite de aceptabilidad durante 12 días, mientras que el tratamiento de 10 ppm O3 presentó una vida útil sensorial inferior a 8 días.

3.3 Concentración de clorofila y carotenoides

La concentración inicial de clorofila a, fue similar para todos los tratamientos, encontrándose en un rango entre 69,0 y 70,3 mg 100 g-1 tej. fresco (Tabla 1). La concentración de esta clorofila disminuyó para todos los tratamientos hasta los 8 días (4-15%), con excepción de las concentraciones de 2 y 10 ppm que se mantuvieron sin variación durante la conservación a 5 ºC. Al cabo de los 12 días, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre todos los tratamientos. Con respecto a la clorofila b, inicialmente presentaron concentraciones inferiores respecto de la clorofila a, encontrándose en un rango de 21,9-25,8 mg 100 g-1 tej, fresco (Tabla 1). La evolución de la clorofila b, presento un comportamiento similar a la clorofila a durante el almacenamiento, sin embargo al cabo de los 12 días, solo hubo diferencias significativas entre el control y las muestras ozonizadas con 10 ppm. En cuanto a la concentración inicial de clorofila total, se observó que todos los tratamientos presentaron valores similares en un rango entre 91,7 y 95,6 mg 100 g-1 tej. fresco (Tabla 1). Posteriormente, la tendencia general fue de una disminución hasta los 8 días (5–14%) y luego se mantuvo constante para todos los tratamientos, con excepción de la concentración de 10 ppm que se mantuvo estable durante la conservación. No se encontraron diferencias significativas entre las muestras tratadas y el control al cabo de los 12 días a 5 °C. Al evaluar el contenido de carotenoides, inicialmente no se registraron diferencias entre las muestras ozonizadas y el control, presentando valores en un rango de 20,5-24,3 mg 100 g-1 tej. fresco (Tabla 1). Durante el almacenamiento, se observó que este parámetro presentó una evolución similar al de la clorofila, es decir una disminución en general hasta los 8 días (con excepción de los tratamientos de 2 y 10 ppm que no presentaron variaciones significativas) y luego se mantuvo hasta los 12 días. No encontrándose diferencias significativas entre todos los tratamientos al final de la conservación a 5 ºC.

Tabla 1. Cambios en las concentraciones de clorofila a, clorofila b, clorofila total y carotenoides en hojas de rúcula cortada sin tratar y tratadas con ozono almacenadas a 5 °C durante 12 días.

Parametros/concentracion O_3	Tiempo de almacenamiento a 5 °C			
	Dia 1	Dia 4	Dia 8	Dia 12
Clorofila a (mg 100 g^{-1} Tej. fresco)				
Control	70,3 a^{A}	67,6 a^{AB}	61,1 a^{B}	62,3 a^{B}
1 ppm O_3	69,0 a^{A}	63,5 a^{B}	61,6 a^{B}	65,1 a^{AB}
2 ppm O_3	69,1 a^{A}	61,9 a^{A}	61,2 a^{A}	64,8 a^{A}
5 ppm O_3	69,4 a^{A}	66,5 a^{AB}	59,6 a^{B}	61,2 a^{B}
10 ppm O_3	69,8 a^{A}	64,8 a^{A}	61,6 a^{A}	61,3 a^{A}
Clorofila b (mg 100 g^{-1} Tej. fresco)				
Control	25,3 a^{A}	20,7 a^{B}	22,2 a^{AB}	23,7 a^{AB}
1 ppm O_3	25,5 a^{A}	21,3 a^{AB}	22,4 a^{AB}	19,8 bc^{B}
2 ppm O_3	23,9 a^{A}	21,2 a^{A}	21,6 a^{A}	22,1 ab^{A}
5 ppm O_3	22,6 a^{A}	20,5 a^{AB}	21,3 a^{AB}	19,7 bc^{B}
10 ppm O_3	21,9 a^{A}	20,1 a^{A}	19,9 a^{A}	18,2 c^{A}
Clorofila total (mg 100 g^{-1} Tej. fresco)				
Control	95,6 a^{A}	88,2 a^{AB}	83,3 a^{B}	86,0 ab^{B}
1 ppm O_3	94,6 a^{A}	84,8 a^{B}	84,0 a^{B}	84,9 ab^{B}
2 ppm O_3	93,0 a^{A}	83,1 a^{B}	82,9 a^{B}	86,9 ab^{AB}
5 ppm O_3	92,0 a^{A}	87,1 a^{AB}	80,9 a^{B}	81,0 ab^{B}
10 ppm O_3	91,7 a^{A}	84,9 a^{A}	81,5 a^{A}	79,5 ab^{A}
Carotenoides totales (mg 100 g^{-1} Tej. fresco)				
Control	24,3 a^{A}	20,5 a^{AB}	17,8 a^{BC}	16,9 a^{C}
1 ppm O_3	22,8 a^{A}	19,0 a^{B}	17,6 a^{B}	18,2 a^{B}
2 ppm O_3	20,7 a^{A}	18,7 a^{A}	18,4 a^{A}	18,2 a^{A}
5 ppm O_3	21,2 a^{B}	20,8 a^{AB}	17,7 a^{C}	18,5 a^{C}
10 ppm O_3	20,5 a^{A}	19,4 a^{A}	17,9 a^{A}	18,9 a^{A}

Los promedios en la misma fila con diferentes superíndices o en la misma columna con diferentes letras minúsculas fueron significativamente diferentes según test DMS a $p < 0,05$.

Estos datos están de acuerdo con lo reportado por Karaca y Velioglu (2014) quienes encontraron que la exposición al ozono gaseoso (0,95 ppm, 20 min) no causó cambios significativos en el contenido de clorofila en perejil ($p > 0,05$). Sin embargo, otros autores informaron que tratamientos con ozono causaron decoloraciones en lechuga (Olmez y Akbas, 2009) y espinacas (Klockow y Keener 2009).

3.4 Análisis microbiológico

De acuerdo a los resultados obtenidos, se seleccionaron las concentraciones de 2 y 5 ppm O3 para evaluar el efecto sobre la carga microbiana del producto y se comparó también con el lavado tradicional con hipoclorito de sodio usado generalmente en las industrias de vegetales. Para ello, se prepararon muestras lavadas sólo con hipoclorito de sodio (100 ppm; 2 min) (Gutiérrez et al., 2016).

Tabla 2. Cambios en mesófilos, psicrófilos, enterobacterias y mohos y levaduras (log UFC g-1) en hojas de rúcula cortadas sin tratar y tratadas con NaClO, 2 y 5 ppm O3, almacenadas a 5 °C durante 12 días.

	Tiempo de almacenamiento a 5 °C (días)			
	1	4	8	12
Aerobios mesófilos totales (log UFC g^{-1})				
Control	4,72 a^{C}	5,09 a^{B}	5,45 a^{A}	5,55 a^{A}
NaClO	3,98 b^{D}	4,45 b^{C}	5,02 b^{B}	5,46 a^{A}
2 ppm O_3	3,74 c^{D}	4,24 c^{C}	4,77 c^{B}	5,42 a^{A}
5 ppm O_3	3,69 c^{D}	4,17 c^{C}	4,74 c^{B}	5,35 a^{A}
Aerobios psicrófilos totales (log UFC g^{-1})				
Control	6,12 a^{D}	6,84 a^{C}	7,51 a^{B}	8,06 a^{A}
NaClO	5,20 b^{D}	6,30 b^{C}	7,15 b^{B}	7,89 a^{A}
2 ppm O_3	4,95 c^{D}	6,05 c^{C}	7,11 b^{B}	7,70 b^{A}
5 ppm O_3	4,92 c^{D}	6,08 c^{C}	7,13 b^{B}	7,75 b^{A}
Enterobacterias (log UFC g^{-1})				
Control	4,12 a^{C}	4,38 a^{B}	4,97 a^{A}	5,22 a^{A}
NaClO	3,50 b^{D}	3,96 b^{C}	4,56 b^{B}	5,10 a^{A}
2 ppm O_3	3,27 c^{D}	3,81 c^{C}	4,27 c^{B}	5,04 a^{A}
5 ppm O_3	3,17 c^{D}	3,79 c^{C}	4,29 c^{B}	5,01 a^{A}
Mohos y levaduras (log UFC g^{-1})				
Control	4,49 a^{D}	4,92 a^{C}	5,54 a^{B}	5,91 a^{A}
NaClO	3,91 b^{D}	4,49 b^{C}	5,23 b^{B}	5,76 a^{A}
2 ppm O_3	3,64 c^{D}	4,29 c^{C}	4,97 c^{B}	5,69 a^{A}
5 ppm O_3	3,62 c^{D}	4,27 c^{C}	4,95 c^{B}	5,66 a^{A}

Los promedios en la misma fila con diferentes superíndices o en la misma columna con diferentes letras minúsculas fueron significativamente diferentes según test DMS a $p < 0,05$.

En el recuento de microorganismos mesófilos, el tratamiento con NaClO produjo una reducción inicial de 0,74 log UFC g-1 con respecto al control, mientras que los tratamientos con 2 y 5 ppm O3 promovieron una mayor reducción de 0,98 a 1,03 log UFC g-1 respectivamente, sin encontrarse diferencias significativas entre las dos concentraciones de ozono (Tabla 2). Para el recuento de psicrófilos, el NaClO resultó en una reducción significativa de 0,92 log y las muestras tratadas con 2 y 5 ppm de ozono mostraron reducciones mayores de 1,17 y 1,20 log UFC g-1 (Tabla 2). En cuanto a las enterobacterias, las muestras lavadas con NaClO presentaron una reducción significativa de 0,62 log y las tratadas con ozono mostraron reducciones de 0,85 a 0,95 log UFC g-1 para las concentraciones de 2 y 5 ppm respectivamente (Tabla 2). En cuanto a mohos y levaduras, el NaClO presento una reducción de 0,58 log UFC g-1, mientras que los tratamientos con 2 y 5 ppm O3 presentaron una reducción de 0,85 y 0,87

log UFC g-1 respectivamente (Tabla 2). El efecto bacteriostático de los tratamientos se observó en todos los recuentos microbianos hasta los 8 días de almacenamiento a 5 °C. Sin embargo, al cabo de los 12 días no se encontraron diferencias significativas entre todos los tratamientos incluyendo el control. Estos resultados coinciden con Olmez y Akbas (2009) quienes encontraron que los tratamientos con O3 (2 ppm-2 min) en lechuga causaron una disminución en los recuentos de mesófilos, psicrotróficos y enterobacterias en aproximadamente 1.5, 1.1 y 1,5 log UFC/g, respectivamente. De acuerdo con nuestros resultados, la vida útil de las hojas de rúcula recién cortadas, se vio limitada por el desarrollo de microorganismos psicrófilos, ya que mantuvieron los recuentos por debajo de 7 log UFC/g que es el límite establecido por la legislación española (BOE, 2000) que se tomó como referencia hasta los 8 días de almacenamiento a 5 °C. Además no se observaron diferencias significativas entre las dos concentraciones aplicadas, por lo tanto seleccionamos como más conveniente la concentración más baja de 2 ppm.

4. CONCLUSIONES

En base a estos resultados, se puede concluir que el tratamiento con O3 gaseoso es una tecnología de gran potencial para la descontaminación de la superficie de las hojas de rúcula recién cortada. Si bien sería factible la aplicación de O3 hasta concentraciones de 5 ppm, seleccionamos el tratamiento con 2 ppm para la conservación poscosecha de rúcula cortada mínimamente procesada, ya que este tratamiento mantuvo una buena calidad sensorial y no influyó significativamente en los diferentes parámetros de calidad estudiados, y permitió retardar el desarrollo microbiano durante 8 días de almacenamiento a 5 °C. La concentración de 5 ppm no aportó un efecto adicional en la conservación y seguridad microbiológica del producto.

5. REFERENCIAS

Ali A., Ong M.K., Forney C.F. Effect of ozone pre-conditioning on quality and antioxidant capacity of papaya fruit during ambient storage. Food Chem. 142: 19-26, 2014.

Artés, F., Gómez, P., Aguayo, Artés-Hernández, F. Pérdida de calidad y su control en productos hortofrutícolas mínimamente procesados en fresco (MPF). Aspectos nutricionales y sensoriales de vegetales frescos cortados. Cap.1: 19-43, 2009.

Artés-Hernández, F., Escalona, V.H., Robles, P.A., Martínez-Hernández, G.B., Artés, F. Effect of UV-C radiation on quality of minimally processed spinach leaves. J. Sci. Food Agric. 89: 414-421, 2009.

Aziz, K., Ding, P. Ozone application in fresh fruits and vegetables. Pertanika Journal of Scholarly Research Reviews, 4(2): 29-35, 2018.

Beltrán, D., Selma, M.V., Marin, A., Gil, M.I. Ozonated water extends the shelf life of fresh-cut lettuce. J. Agric. Food Chem. 53: 5654–5663, 2005.

BOE. Normas de higiene para la elaboración, distribución y comercio de comidas preparadas. Real Decreto, 3484/2000, 1435–1441, 2000.

Char C., Silveira A.C., Inestroza-Lizardo C., Hinojosa A., Machuca A., and Escalona V.

H. Effect of noble gas-enriched atmospheres on the overall quality of ready-to-eat arugula salads. Postharvest Biol. Technol. 73: 50-55, 2012.

Fagundes, C., Moraes, K., Pérez-Gago, M. B., Palou, L., Maraschin, M., & Monteiro, A.

R. Effect of active modified atmosphere and cold storage on the postharvest quality of cherry tomatoes. Postharvest Biol. Technol. 109: 73-81, 2015.

Gutiérrez, D.R., Chaves, A.R., Rodriguez, S.D.C., Use of UV-C and gaseous ozone as sanitizing agents for keeping the quality of fresh-cut rocket (Eruca sativa Mill.). J. Food Process. Preserv. 00: 1–13, 2016.

Gutiérrez, D. R., Chaves, A. R., and Rodríguez, S. D. C. UV-C and ozone treatment influences on the antioxidant capacity and antioxidant system of minimally processed rocket (Eruca sativa Mill.). Postharvest Biol. Technol. 40, 138, 107-113, 2018.

Gutiérrez, D. R., & Rodríguez, S. D. C. Combined Effect of UV-C and Ozone on Bioactive Compounds and Microbiological Quality of Fresh-Cut Rocket Leaves. American J. Food Sci. Technol., 7(3): 71-78, 2019.

Karaca H., and Velioglu Y.S. Effects of ozone treatments on microbial quality and some chemical properties of lettuce, spinach, and parsley.

Postharvest Biol. Technol., 88: 46-53, 2014.

Klockow, P.A., Keener, K.M. Safety and quality assessment of packaged spinach treated with a novel ozone-generation system. Food Sci. Technol. 42: 1047–1053, 2009.

Lichtenthaler H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. Methods Enzymology, 148: 350-382, 1987.

Olmez H., and Akbas M.Y. Optimization of ozone treatment of fresh-cut green leaf lettuce. J. Food Engineering, 90: 487-494, 2009.

Ong M.K., Ali A., Alderson P.G., Forney C.F. Effect of different concentrations of ozone on physiological changes associated to gas exchange, fruit ripening, fruit surface quality and defense-related enzymes levels in papaya fruit during ambient storage. Sci. Horticulturae, 179: 163-169, 2014.

Papachristodoulou, M., Koukounaras, A.,

Siomos, S., Liakou, A., Gerasopoulos, D. The effects of ozonated water on the microbial counts and the shelf life attributes of fresh-cut spinach. J. Food Process. Preserv, 42(1), 13404, 2018.

Pretell-Vásquez, C., Márquez-Villacorta, L., Siche, R., Hayayumi-Valdivia, M. Efecto del ozono y tiempo de almacenamiento sobrelas características fisicoquímicas de espárrago verde (Asparagus officinalis L.) mínimamente procesado. Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 21(3), 1506. 2020.

Torales, A. C., Gutiérrez, D. R., Rodríguez, S. D. C. 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, 2020.

Evaluación de textura sensorial e instrumental de galletas libres de gluten

Lescano, Natalia E.[1]; Costa Macias, Karina E.[1]; Macías, Sara M.[1]; Generoso, Silvina[1] y Villarreal Myriam E.[1]

(1) ICYTA-Facultad de Agronomía y Agroindustrias-Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina.
natylescano@hotmail.com

RESUMEN
Aproximadamente el 1% de la población argentina adulta padece celiaquía, pero se observa comercialmente poca disponibilidad de alimentos libres de gluten. El diseño de estos alimentos representa una importante área de investigación. Las harinas sin TACC de frutos regionales, podrían usarse para diseñarlos, dado que además contribuyen a mejorar su calidad nutricional.
Objetivo: evaluar en galletas dulces el efecto del uso de mezclas de harinas (arroz, chañar, mistol y habas), sobre las características de textura sensorial e instrumental.
Se diseñaron dos formulaciones que solo se diferenciaron en el contenido de Mistol-Chañar (F1 y F2). Se determinaron sus composiciones proximales. La textura fue medida con texturómetro. El perfil sensorial se evaluó con panel entrenado a tal fin.
El contenido de fibras y proteínas fue mayor respecto de galletas LG del mercado; los lípidos fueron del orden 11%. La dureza de F1 y F2 fue 58,4±5,4 y 55,6±9,2 N respectivamente. Las galletas tuvieron alta puntuación de dureza manual y bucal, sin diferencias entre ambas. Los panelistas percibieron baja crocancia y arenosidad. La formulación con mayor contenido de mistol y humedad (F1) fue la preferida.
Es necesario profundizar estudios tendientes a mejorar la textura del producto para mayor satisfacción del consumidor.

ABSTRACT
Approximately 1% of the adult Argentine population suffers from celiac disease, but there is little commercial availability of gluten-free foods. The design of these foods represents an important area of research. Flours without TACC of regional fruits could be used to design them, since they also contribute to improving their nutritional quality.
Objective: to evaluate in sweet cookies the effect of the use of flour mixtures (rice, chañar, mistol and beans), on the sensory and instrumental texture characteristics.
Two formulations were designed that only differed in the content of Mistol-Chañar (F1 and F2). Their proximal compositions were determined. The texture was measured with a texturometer. The sensory profile was evaluated with a panel trained for this purpose.
The fiber and protein content was higher compared to LG cookies on the market; lipids were of the order 11%. The hardness of F1 and F2 was 58.4 ± 5.4 N and 55.6 ± 9.2 N respectively. The cookies had a high score for manual and buccal hardness, with no differences between the two. The panelists perceived low crispness and sandiness. The formulation with the highest content of mistol and moisture (F1) was preferred.
Further studies are needed to improve the texture of the product for greater consumer satisfaction.

Palabras clave: perfil de textura, evaluación sensorial, galletas libres de gluten.
Key Word: texture profile, sensory evaluation, gluten-free cookies.

1- INTRODUCCIÓN

El chañar (Geoffroea decorticans) (Ch) y el mistol (Ziziphus mistol) (M) son frutos subexplotados de leguminosas arbóreas, empleados ancestralmente por las comunidades rurales y aborígenes como recurso alimentario. Su aprovechamiento integral representa una interesante alternativa en las economías regionales.

Estos frutos ofrecen un contenido importante de proteínas, carbohidratos, fibra dietética, minerales, entre otros nutrientes, presentando además propiedades funcionales que permiten su aplicación en una gran variedad de productos (Olapade & Oluwole, 2013; Nwanekezi, 2013; Cheng & Bhat, 2016). Actualmente se están realizando diversas investigaciones y desarrollos de productos incluyéndolos como ingredientes y fuente alternativa de nutrientes en diversos alimentos como brownies (Granito, Valero & Zambrano, 2010), pastas (Torres, Frías, Granito & Vidal-Valverde, 2007) y bebidas (Pérez & Granito, 2015). Considerando aspectos nutricionales, la combinación de leguminosas y cereales se ha estudiado ampliamente (Bressani 2002), demostrando que complementan su composición proteica.

Dentro de los productos horneados, las galletas se convirtieron en uno de los productos "listos para comer" más populares, versátiles y mejor aceptados por diferentes grupos etarios de todo el mundo, por lo que hoy son clasificadas de "consumo masivo". El desarrollo de galletas libres de gluten (LG), con buenas propiedades nutricionales y sensoriales resulta un campo de gran interés debido al creciente consumo de estos productos, tanto por la población con patologías asociadas al gluten o sin ellas, fruto de la percepción de que los alimentos LG son más saludables (Giuberti, Marti, Fortunati & Gallo, 2017; Jan, Saxena & Singh, 2016).

Al igual que el resto de los productos LG horneados, las galletas presentan dificultades similares en la formación y manejo de la masa, sin embargo, al no requerirse una expansión significativa, los productos que se pueden desarrollar con mayor facilidad son las galletas, con la textura y características sensoriales adecuadas (Jan et al., 2016).

1.1. *Textura.*

Las propiedades texturales de un alimento son el grupo de características físicas que dependen de los elementos estructurales de sus componentes y sus interacciones y se relacionan con la deformación, desintegración y flujo por la aplicación de una fuerza (Yang, Li, Li, Sun & Guo, 2020). Además, direcciona preferencias y aceptabilidad de los productos y el consumidor las percibe durante la masticación.

En las últimas décadas, el estudio de la textura de los alimentos se ha incrementado y convertido en un área activa de la ciencia de los alimentos. En el nicho del mercado correspondiente a la oferta de alimentos LG, el desafío principal es mejorar las propiedades de textura de los productos o diseñar alimentos con texturas diferenciales (Yang et al., 2020). El uso de las harinas LG modifica sustantivamente los parámetros de procesado, de manera que los mismos deben ser estudiados, definidos y adaptados a las tecnologías tradicionales existentes para mantener características reológicas, texturales y sensoriales de calidad similares a sus homólogos con gluten (Kohajdová, Karovičová & Magala, 2013).

En este sentido, cobra relevancia profundizar los estudios físicos y texturales que aporten a evaluar la dureza y fracturabilidad, factores importantes en la aceptabilidad del consumidor, sobre todo si se considera que las galletas LG, generalmente presentan una elevada dureza y una aceptabilidad menor a la esperada (Martínez-Jiménez, Rodríguez-Sandoval & Hernández-Gómez, 2015).

El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto del uso de mezclas de harina de arroz (A), chañar (CH), mistol (M) y habas (H) en las formulaciones de galletas dulces, sobre las características de textura instrumental y sensorial.

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Formulación de galletas LG

Se realizaron dos formulaciones (F1 y F2) con harinas (fracción R80) de A, H, Ch y M, cuyas proporciones se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Formulación de galletas con diferentes concentraciones.

Ingredientes	F1 (g/100g)	F2 (g/100g)
A	36,65	36,65
H	12,21	12,21
M	6,10	4,89
Ch	6,10	7,33
Azúcar	14,05	14,05
Margarina	14,05	14,05
Polvo para hornear	0,85	0,85
Ac. Cítrico	0,18	0,18
Agua	9,80	9,80

Las proporciones de harinas de M:Ch empleadas, surgen de evaluaciones previas realizadas con panelistas entrenados que determinaron los valores máximos aceptables de M y Ch (Macías, Binaghi,

Zuleta, Ronayne de Ferrer, Costa & Generoso,2013) que no incidían negativamente en el sabor.

2.2. Elaboración de galletas

Para la elaboración de las galletas LG se siguió el procedimiento mostrado en la Figura 1, iniciando con un cremado de la materia grasa, el azúcar, ácido cítrico y el polvo de hornear. Una vez finalizado el cremado se incorpora la totalidad del agua y se bate durante 1 min a igual velocidad. El formado de la masa se realiza en la misma batidora a una velocidad de 50 rpm durante 2 min, incorporando las harinas previamente mezcladas.

Luego, se retira la masa del tazón y se forma un cilindro con las manos, se cortan círculos de 7 mm de espesor y de 45 mm de diámetro que se colocan en bandejas de acero inoxidable, y se llevan al horno de aire estanco a una temperatura de 165°C durante 19 min. Finalmente, las galletas se enfrían sobre las mismas bandejas a temperatura ambiente (25±1 ºC) durante 1 h.



Figura 1. Procedimiento de elaboración de galletas LG.

2.3- Determinaciones analíticas de composición

A las dos formulaciones de galletas dulces LG se les determinó humedad, cenizas y lípidos según las técnicas oficiales 27.03.06, 32.10.5 y 32.1.14 de la (AOAC, 1995), respectivamente. El contenido de fibra dietaria total (FDT), soluble (FDS) e insoluble (FDI) por el método descripto por Prosky & Lee (1996) y proteínas conforme al método informado por Hach, Bowden, Kopelove & Brayton (1987) usando como factor de conversión de nitrógeno 6,25. El contenido de hidratos de carbono se calculó por diferencia.

2.4- Perfil de textura instrumental.

La dureza de las galletas horneadas se midió usando un analizador de texturaTA.XT2i (CT3 Brookfield - Stable MicroSystems, Surrey, Reino Unido). 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 cinco galletas por cada formulación. La fuerza máxima para romper las galletas se informa como fuerza de fractura en N. Se realizaron tres elaboraciones y se hicieron treinta repeticiones de las medidas texturales a cada formulación.
El procedimiento de trabajo en el analizador de textura se configuró bajo las siguientes condiciones: fuerza medida en modo compresión; velocidad de prueba previa: 1,0 mm/s; velocidad de prueba: 3,0 mm/s; velocidad de prueba posterior: 10,0 mm/s; distancia de penetración: 5,0 mm; fuerza de disparo: 50 g.

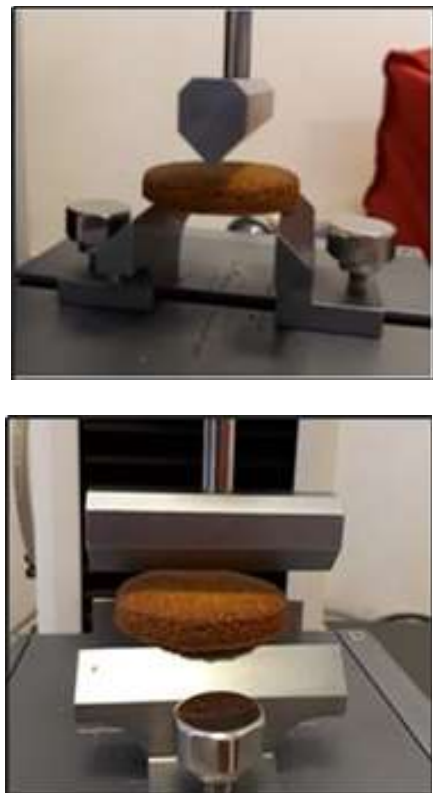


Figura 2. Sonda de flexión aplicada en el ensayo textural de galletas LG.
La fuerza (máxima) se registró como dureza en un punto en el que las galletas se rompieron en dos piezas principales (Chakraborty & Kumbhar, 2011). Esta fuerza máxima en el punto de ruptura representa la resistencia a la rotura de la galleta.

2.5- Evaluación sensorial.

2.5.1. Entrenamiento del panel.

Se llevaron a cabo las etapas para el entrenamiento de un panel de evaluación sensorial de alimentos según lo indicado en la norma ASTM 758, y Meilgaard, Civille & Carr, (1999). El panel inicial estuvo constituido por 12 personas con edades comprendidas entre 25 y 60 años. La selección se realizó considerando el porcentaje de aciertos en las pruebas de identificación de gustos básicos y ordenamiento de la intensidad gustos básicos, según los requisitos de la norma ISO 397, y el análisis secuencial según la norma ISO 16820 para la evaluación del desempeño individual en las pruebas triangulares.
Las escalas de referencia se generaron a partir de productos alimenticios disponibles en el mercado. Para establecer los extremos inferior y superior de las características de textura se utilizaron alimentos que presentaban una intensidad baja o alta de cada atributo.

2.5.2. Desarrollo de las pruebas

Para realizar el análisis sensorial en galletas dulces, se aplicaron dos tipos de metodologías: una descriptiva y otra afectiva.
Las pruebas sensoriales se llevaron a cabo en el Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (ICyTA) de la Facultad de Agronomía y Agroindustrias, de la Universidad Nacional de Santiago del Estero.

2.5.2.1 Análisis descriptivo cuantitativo

Se trabajó en dos etapas con un panel entrenado.
Para llevar a cabo el análisis descriptivo, se trabajó en dos etapas con un panel entrenado. Durante la primera, se realizó la búsqueda y selección de los descriptores que representan las propiedades sensoriales de las muestras en estudio. Para ello durante las reuniones sucesivas se trabajó con el panel en una mesa redonda y los descriptores sensoriales a evaluar surgieron a partir del consenso de los jueces respecto de los descriptores más nombrados, que sean discriminantes, independientes, etc. Las características de los descriptores seleccionados fueron: Textura manual (Dureza), Textura en boca (Dureza, arenosidad y crocancia) Gusto (Dulce, amargo) y Sabor (Asrtingente, picante y retrogusto).
Una vez definidos los descriptores se cuantificó su intensidad. Para los atributos de textura manual, textura en boca, gusto y sabor se utilizó una escala lineal no estructurada, de una longitud de 10 cm para cada descriptor definido.
Las muestras de galletas, codificadas con números aleatorios de tres dígitos, fueron dispuestas en placas de plástico idénticas y se sirvieron con agua para enjuagar la boca entre muestra y muestra. Se solicitó al jurado que en primera instancia quiebren la galleta con la mano y las lleven a la boca, una vez en boca las mastiquen con los dientes molares hasta la deglución. Para las evaluaciones, se utilizaron cabinas individuales, iluminadas con luz blanca, a una temperatura de 25 °C.

2.5.2.2 Pruebas afectivas

Considerando que el producto está aún en la fase de prueba, se trabajó según Chambers y Baker Wolf (1996) con 30 consumidores (alumnos de carrera de ingeniería en alimentos de la Universidad Nacional de Santiago del Estero) y se solicitó al panel que indique la formulación de mayor preferencia.

2.6. Análisis estadístico

2.6.1 Análisis estadístico para determinaciones experimentales.

Para las determinaciones de composición se realizó un análisis estadístico descriptivo.

2.6.2 Análisis estadístico para ensayos texturales instrumentales y sensoriales.

El análisis estadístico de los valores medios para los descriptores del ensayo sensorial se realizó utilizando el análisis de varianza (ANOVA) para un nivel de significancia $p \leq 0,05$, usando el software InfoStat (InfoStat, 2008). La diferencia significativa entre medias se evalúo a través del test de comparaciones múltiples de Fisher.
Se aplicó la prueba t-pareada para el perfil de textura instrumental y sensorial, comparando la F1 y F2. En el caso del perfil sensorial, la prueba t-pareada permite sustraer una fuente adicional de variación, según indica Montgomery (2005), la cual en este estudio está representada por los panelistas.

3- RESULTADOS

3.1 Composición centesimal de galletas libres de gluten

La composición centesimal de las galletas LG se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Composición proximal de galletas LG.

Componentes (g/100g b.s.)	F1	F2
Proteínas	31,70±0,55	32,27±1,32
Lípidos	11,80±0,13	11,63±0,01
FDT	7,01±0,03	7,15±0,12
FDS	0,94± 0,07	0,85±0,06
Cenizas	1,84±0,07	1,95±0,06
HC	47,65	46,60
Kcal/100 g	423,60	420,15

La incorporación de las harinas de H, M y Ch incrementa el contenido de FDT, hasta un 7 % a la vez que, permite obtener u producto final con aproximadamente un 15% menos en contenido de grasa y 68% mayor contenido de FDT que las galletas dulces LG a base de arroz informadas por Giuberti, Marti, Fortunati & Gallo (2017) y hasta 3 veces menor contenido graso en comparación a otras galletas formuladas a partir de mezclas con harina de soja, quínoa y amaranto (Vieira et al., 2015). El contenido de lípidos de ambas formulaciones fue del orden del 11 %, lo que hace de estas galletas dulces LG un producto más saludable, en relación a otros similares del mercado.

El contenido de humedad de las galletas fue significativamente diferente ($p \leq 0,05$) entre sí, la misma osciló entre el 5,3 % (F1) y el 4,3 % (F2), dado probablemente al efecto de la FDT presente y a la proporción de FDS e FDI, siendo la F2 aquella con menor proporción de FDS, los valores de humedad obtenidos se encuentran comprendidos en niveles óptimos para humedad en galletas del 5% (Cauvain & Young, 2009). Las formulaciones en estudio mostraron un mayor contenido proteico, de FDT y de minerales y menor contenido de materia grasa, lo cual demuestra la mejora composicional y nutricional de los productos formulados.

3.2. Textura instrumental.

La textura es uno de los parámetros claves para evaluar la calidad de las galletas (Jan et al., 2016). El equipo texturómetro brinda características de textura que son comunes para una amplia gama de alimentos, sin embargo, para un producto como las galletas, existen parámetros específicos que son determinantes en la calidad del producto, entre ellos se encuentra la dureza, resistencia al corte y la cohesividad.

Las galletas F1 y F2 al ser productos horneados presentaron una estructura con poca humedad lo que les otorga las siguientes características: resistentes, duras, rígidas y compactas. Resultados similares fueron hallados por Castro et al. (2003), Granito et al. (2010), Barrera et al. (2012) y Gani et al. (2014), en galletas horneadas, quienes indicaron que dentro de los factores que más contribuyeron e influyeron en los parámetros texturales están la gelatinización de los almidones, la reducción del contenido de humedad del producto durante el tratamiento térmico, la desnaturalización de las proteínas y la cristalización del azúcar con la temperatura de horneado.

Dentro de los parámetros medidos con el texturómetro se detallan los resultados de la fuerza máxima (dureza), por ser éste el que presentó mayor correlación con los resultados del panel sensorial entrenado.

Particularmente, la dureza de las galletas F1 y F2 (58,4±5,4 y 55,6±9.2 N, respectivamente), no variaron significativamente con las distintas proporciones de harinas de M: Ch, a pesar de ser un valor mayor respecto a los obtenidos por otros autores en galletas de igual espesor (Torrez-Gonzáles, et al, 2015). En concordancia con estos resultados, De Simas et al. (2009) evaluaron la dureza instrumental en galletas horneadas y encontraron que las muestras cuyo contenido de humedad fue mayor se fracturaron más fácilmente; mientras que las de menor humedad fueron más duras.

El alto contenido de proteínas y fibra y los bajos contenidos de materia grasa contribuirían a la textura obtenida (McWatters et al., 2003; Giuberti et al., 2017; Olvera-Hernández, Aparicio-Trápala, Ble-Castillo, Muñoz-Cano & Rodríguez-Blanco, 2012).

3.3. Textura sensorial

El perfil de textura es el análisis sensorial de la complejidad de las características texturales de un producto, desglosándolas en características mecánicas, geométricas y otras (Szczesniak, 2002).

El panel demostró un alto rendimiento (entre 78-83 % de aciertos) durante las pruebas de selección y entrenamiento, según los criterios establecidos en las normas ISO y ASTM especificas en esta área.

3.3.1 Análisis descriptivo cuantitativo

En la Figura 3, se muestran los resultados obtenidos de la evaluación de los atributos sensoriales (sabor y textura) de las galletas elaboradas a partir de la mezcla de harina de M, Ch, H y A. Ambas formulaciones obtuvieron calificaciones muy similares al comparar idénticos descriptores.

Los parámetros texturales tuvieron una puntuación alta de dureza manual y bucal del orden de 8,2-8,3, no observándose diferencias significativas entre los resultados de ambas formulaciones para los parámetros mencionados. Asimismo, los panelistas percibieron una baja crocancia en el producto, 0,99 para F1 y 0,96 para F2. Estos valores se corresponden con los resultados obtenidos en el texturómetro, que indican galletas poco quebradizas con alta resistencia al corte.

La arenosidad percibida también fue baja 1,35-1,46, para F1y F2 respectivamente, descriptor que puede relacionarse con la fuerte cohesividad observada en la masa. Los consumidores, generalmente prefieren galletas de baja dureza, aunque ciertos grupos prefieren productos con una estructura más rígida (Sanchez-Rivera, Bello-Pérez, Tovar, Mario & Agama-Acevedo, 2019).
Los resultados obtenidos indican que es necesario optimizar la formulación, para mejorar la textura del producto en el sentido de las expectativas del consumidor, ya que como se mencionó, es un atributo que direcciona preferencias y aceptabilidad en galletas.

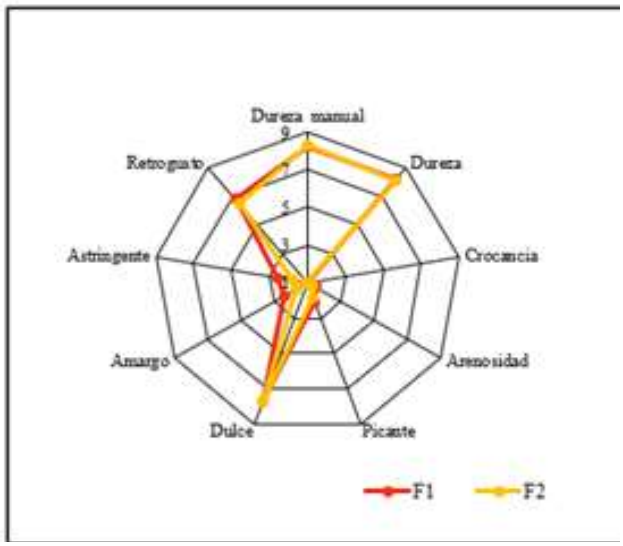


Figura 3. Perfil de sabor y textura en galletas dulces LG

3.3.2. Prueba afectiva. Preferencia.

Las galletas F1 fueron las preferidas por los panelistas por sobre las galletas F2, a pesar de que las mismas tuvieron una mayor astringencia y amargor. Estas dos características, probablemente estén relacionadas al mayor contenido de harina de M, que posee cantidades significativas de taninos y compuestos fenólicos según lo mencionan Cardozo et al. (2011).

4- CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos de textura y sabor ponen de manifiesto que las formulaciones se diferencian en los descriptores astringente y amargo que son los responsables de la preferencia por la galleta F1. El aumento del contenido de harina de mistol en la formulación F1 contribuyó a la retención de humedad en la galleta, de manera que favoreció a la textura final de las mismas. Estos resultados estimulan el uso de mezclas de harinas (de arroz, mistol, chañar y habas) para la elaboración de galletas LG, como una opción de mejor calidad nutricional frente a homólogos del mercado destinados a la población celiaca. Sin embargo, se considera necesario optimizar la textura bucal de las mismas.
La industrialización de los prototipos estudiados ampliaría la oferta alimentaria a la población celíaca.

NOTA: Esta investigación se realizó como parte de la Tesis Doctoral de la Ing. Natalia Lescano, bajo la dirección de la Dra. Myriam Villarreal y en el marco de los proyectos “Desarrollo de procesos y equipos destinados a la producción de alimentos a partir de frutos silvestres del monte semiárido argentino” y “Evaluación sensorial de alimentos nuevos desarrollados con vegetales e ingredientes regionales”, y financiados por Ciyt- UNSE.

AGRADECIMIENTO

Las autoras desean agradecer al Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos y al Instituto de Ciencia y Tecnología de alimento de la Universidad Nacional de Córdoba ICyTAC por facilitar el uso de instalaciones y del texturómetro.

5- REFERENCIAS

American Society for Testing and Materials. (ASTM:758). Guidelines for the selection and training of sensory panel members. *Committee E-18. Special Technical Publication.* Philadelphia; 1981.

AOAC. Oficial Methods of Analysis of the Association of Oficial Analytical Chemists (16th ed.), 1995.

Barrera, G.N.; E. Bassi, R.J. Reyes Martínez, A.E. León and P.D. Ribotta, 2012. Effects of different fractions of wheat flour produced in an industrial mill on cookies quality. Agriscientia XXIX (2): 69-79.

Bressani R. Factors influencing nutritive value in food grain legumes: Mucuna compared to other grain legumes. En: Food and feed from Mucuna: Current user and the way forward. *Proceedings of an International Workshop* 2002. Honduras; p. 164-188, 2002.

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 (2011) 2063–2071

Castro E., Verdugo M., Miranda M., Rodríguez A. (2003). Determinación de parámetros texturales

de galletas. Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química. Disponible en: http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias_quimicas_y_farmaceuticas/c20028221225determinacionparametros1.pdf.

Cauvain, S. P., & Young, L. S., Bakery Food Manufacture and Quality. In U. 9600 Garsington Road, Oxford, OX4 2DQ, United Kingdom - 2121 State Avenue, Ames, Iowa 50014-8300 (Ed.), *Bakery Food Manufacture and Quality* (Firt editi), 2009.

Chakraborty SK, Kumbhar BK, Chakraborty S, Yadav P. Influence of processing parameters on textural characteristics and overall acceptability of millet enriched biscuits using response surface methodology. J Food Sci Technol. 2011 Apr;48(2):167-74. doi: 10.1007/s13197-010-0164-4. Epub 2010 Nov 11. PMID: 23572731; PMCID: PMC3551064.

Cheng YF, Bhat R. Functional, physicochemical and sensory properties of novel cookies produced by utilizing underutilized jering (Pithecellobium jiringa Jack.) legume flour. *Food Biosc.*; 14(1): 54–61, 2016.

De Simas K.N., Vieira, L., Podesta R., Müller C., Vieira M., Beber R., Reis M., Barreto P., Amante E. & Amboni R., Effect of King Palm (Archontophoenix alexandrae) flour incorporation on physicochemical and textural characteristics of gluten-free cookies. *International Journal of Food Science & Technology*, 44, 1: 531-538, 2009.

Giuberti, G., Rocchetti, G., Sigolo, S., Fortunati, P., & Gallo, A., Exploitation of alfalfa seed (Medicago sativa L.) flour into gluten-free rice cookies: nutritional, antioxidant and quality characteristics. *Food Chemistry, 2017*.

Gani A., Broadway, A., Ahmad, M., Ashwar, B., Wani, A., Wani, S., Masoodi, F. & Khatkar, B. (2014). Effect of whey and casein protein hydrolysates on rheological, textural and sensory properties of cookies. Journal of Food Science and Technology, 52, 9: 5718-5726.

Granito M, Valero Y, Zambrano R. Desarrollo de productos horneados a base de leguminosas fermentadas y cereales destinados a la merienda escolar. *Arch Latinoamer Nutr.*; 60(1): 85-92, 2010.

Hach, C.C.; Bowden, B.K.; Kopelove, A.B.; Brayton, S. V., More powerful peroxide Kjeldalh digestion method. In *Journal of Association of Analitical Chemist* (Vol. 70, Issue 5, pp. 783–787),1987.

International Organization for Standarization (ISO: 3972). Sensory analysis. Methodology: Method of investigating sensitivity of taste. Switzerland; 1991.

International Organization for Standarization (ISO 16820) Sensory Analysis- Methodology- Sequential analysis. ISO/TC 34 Food products. Subcommittee SC 12 Sensory analysis. Switzerland: 2004.

Jan, R., Saxena, D. C., & Singh, S., Physico-chemical , textural , sensory and antioxidant characteristics of gluten free cookies made from raw and germinated Chenopodium (Chenopodium album) flour. *LWT - Food Science and Technology*, *71*, 281–287, 2016.

Kohajdová, Z., Karovičová, J., & Magala, M., *Effect of lentil and bean flours on rheological and baking properties of wheat dough*, 2013.

Macías, S., Binaghi, M., Zuleta, A., Ronayne de Ferrer, P., Costa, K., & Generoso, S., Desarrollo de galletas con sustitución parcial de harina de trigo con harina de algarroba (Prosopis alba) y avena para planes sociales. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos.*, *4*(2), 170–188, 2013.

McWatters, K. H., Compositional, physical, and sensory characteristics of akara processed from cowpea paste and nigerian cowpea flour. *American Association of Cereal Chemists*, 333–336, 1983.

Martínez-Jiménez, F., Rodríguez-Sandoval, E., & Hernández-Gómez, M. S., Impacto de la adición de caboximetilcelulosa y agua en las propiedades fisicoquímicas y de calidad de pan libre de gluten. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, *18*(2), 445–454, 2015.

Meilgaard M, Civille G, Carr T. Sensory evaluation techniques. 3th ed. *Boca Ratón: CRC Press*; p 387,1999.

Montgomery DC. Diseño y análisis de experimentos. 2da ed. México: Limusa Wiley; 2005. p 686.

Nwanekezi EC. Composite Flours for Baked Products and Possible Challenges-A *Review. NIFOJ.,* 31(2): 8–17, 2013.

Olapade AA, Oluwole OB. Bread Making Potential of Composite Flour of Wheat-Acha (Digitaria exilis staph) Enriched with Cowpea (Vigna unguiculata L. walp) Flour. *NIFOJ.*; 31(1): 6–12, 2013.

Olvera-Hernández, V, & Aparicio-Trápala, MA, & Ble-Castillo, JL, & Muñoz-Cano, JM, & Rodríguez-Blanco, L (2012). Efecto del almidón resistente de banano (Musa Cavendish AAA) sobre el control metabólico en ratas Wistar con dieta alta en sacarosa. Universidad y Ciencia, 28(1),51-56. ISSN: 0186-2979. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=15423170005

Pérez S, Granito M. Bebida achocolatada alta en proteínas con base en Cajanus cajan fermentado y avena. *An Venez Nutr.;* 28(1):11-20, 2015.

Prosky, L., & Lee, S. C., Dietary Fiber and Its Applications: Definitions, Analytical Methods and Their Applications. *Natural Antioxidants and Food Quality in Atherosclerosis and Cancer Prevention*, *5*, 303–310, 1996.

Sanchez Rivera, M. M., Bello-pérez, L. A., Tovar, J., Mario, M., & Agama Acevedo, E., Esterified plantain flour for the production of cookies rich in

indigestible carbohydrates. *Food Chemistry*, 1–27, 2019.

Szczesniak A. Texture is a sensory property. *Food Qual Pref*., 13: 215-225, 2002.

Torres A, Frías J, Granito M, Vidal-Valverde C. Germinated Cajanus cajan seeds as ingredients in pasta products: Chemical, biological and sensory evaluation. *Food Chem*., 101(1): 202-211, 2007.

Torres González J.D., Torres Gallo R., Acevedo Correa D., Gallo-García L.A. (2015). Evaluación instrumental de los parámetros de textura de galletas de limón. Revista Vector, 10: 14-25.

Vieira, T. S., Freitas, F. V., Silva, L. A. A., & Barbosa, W. M., Efeito da substituição da farinha de trigo no desenvolvimento de biscoitos sem glúten Effect of wheat flour substitution on the development of gluten-free cookies. *Brazilian Journal of Food Technology*, *18*(4), 285–292, 2015.

Yadav, R.B., Yadav, B.S. & Dhull, N. Effect of incorporation of plantain and chickpea flours on the quality characteristics of biscuits. J Food Sci Technol 49, 207–213 (2012). https://doi.org/10.1007/s13197-011-0271-x

Caracterización de mieles de limón (*Citrus Lemon*) de la provincia de Tucumán (Argentina) mediante parámetros fisicoquímicos

Rios, Francisco [(1)]; Amaya, Argentina [(1)]; Lobo, Manuel [(1)], Samman, Norma [(1)] *

[(1)] *Centro Interdisciplinario de Investigaciones en Tecnologías y Desarrollo Social para el NOA-CONICET. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Jujuy. Italo Palanca 10. Jujuy. Argentina TEL +54 388 4221590*

**normasamman@gmail.com*

RESUMEN

En los últimos años existe una alta demanda de mieles de composición y autenticidad conocidas. El objetivo de este trabajo es caracterizar mieles monoflorales de citrus de la provincia de Tucumán (Argentina) mediante sus propiedades fisicoquímicas. Se recolectaron y analizaron 35 muestras de mieles de limón de diferentes apicultores. Los parámetros fisicoquímicos fueron determinados por métodos oficiales AOAC. El análisis de componentes principales (ACP) fue empleado como análisis exploratorio entre las mieles. Según los análisis melisopalinológicos las muestras contiene 15% o más de polen de *Citrus Lemon* por lo que corresponden a mieles monoflorales de Citrus. Todas las muestras cumplen con los requisitos establecidos a nivel nacional e internacional de calidad fisicoquímica indicando un adecuado manejo durante su extracción y procesamiento. Los primeros dos factores del ACP aplicado a los datos fisicoquímicos explican 74% de la variabilidad total de los datos. La baja heterogeneidad entre las muestras indicaría que pertenecen a un mismo origen botánico.

ABSTRACT

In recent years there is a high demand of honey of known composition and authenticity. The objective of this work is to determine the physicochemical characteristics of citrus monofloral honey belonging to the province of Tucumán (Argentina). A total of 33 of lemon honey were analyzed, which belong to different beekeepers in the province of Tucumán (Argentina). The physicochemical parameters were determined by official AOAC methods. The principal component analysis (PCA) was used as an exploratory analysis among the honeys. According to melisopalynological analyzes, the samples contain 15% or more *Citrus Lemon* pollen; therefore they correspond to monofloral honey of Citrus. All samples comply with the national and international requirements for physicalchemical quality, indicating proper handling during extraction and processing. The first two ACP factors applied to the physicochemical data explain 74% of the total variability of the data. The low heterogeneity between the samples would indicate they belong to the same botanical origin.

Palabras claves: Miel de *Citrus*- Parámetros fisicoquímicos- Análisis de componentes principales

Keywords: (*Citrus* honey – Physicochemical parameters, Principal component analysis

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años existe una alta demanda por el consumo de productos naturales, de composición, trazabilidad y autenticidad conocidas. La miel es un endulzante natural ampliamente utilizado por sus propiedades sensoriales, nutritivas y biológicas, cuya composición depende de factores como el origen botánico y geográfico (Karabagias, 2020).

El Código alimentario Argentino (CAA, 2004), define la miel como una solución sobresaturada de azúcares reductores con predominancia de fructuosa, glucosa y en menor proporción de otros hidratos de carbono, enzimas, aminoácidos, ácidos orgánicos, minerales, pigmentos, ceras, granos de polen y una fracción de compuestos volátiles que determinan su flavor y aroma característico. Existen diferentes tipos de mieles, entre las que se destacan las mieles de origen floral, que se obtienen del néctar de las plantas, las cuales son comúnmente comercializadas y consumidas alrededor del mundo. La composición de las mieles de origen floral está definida por numerosos factores como la contribución del néctar y polen de las plantas, zonas geográficas, condiciones ambientales y en consecuencia están sujetas a variaciones. Por lo que cada tipo de miel es única en base al número de combinación de los factores individuales mencionados (Serrano, 2004). Los parámetros de calidad y composición determinados comúnmente en las mieles a nivel internacional son humedad, acidez libre, actividad diastásica, hidroximetilfurfural (HMF), cenizas, azúcares reductores, sacarosa aparente, pH entre otros (AOAC, 1995; CAA, 2004).

Las mieles de origen floral pueden clasificarse en monoflorales (o uniflorales) y multiflorales (o poliflorales). Para determinar que una miel sea monofloral, el tipo de polen que la caracteriza debe estar presente en el sedimento en un 45 %, salvo excepciones, como en los casos de cítricos o que posean una particular biología floral (como es el caso de la alfalfa), o bien son muy ricas en polen y el porcentaje mínimo para determinar una miel como monofloral puede ser superior al 70 % por ejemplo en el caso de las mieles de *Eucalyptus*. Las mieles multiflorales son aquellas que procediendo del néctar de diversas especies vegetales, no predomina ninguna forma polínica sobre las demás (Loveaux, 1978; Córdova, 2013).

Existen un gran interés en las mieles debido a sus características sensoriales (endulzante natural) y propiedades terapéuticas que a su vez dependen de su origen botánico (Alvarez-Suarez, 2010; Mandal, 2011). Hay diferentes mieles monoflorales que se obtienen y comercializan alrededor del mundo como las de *Eucaliptus, Lavanda* y *Citrus*, entre otras.

En Argentina se pueden encontrar mieles de *Citrus* en diferentes regiones (Isla, 2011; Tamaño, 2019). Las especies de cítricos son plantas nectaríferas atractivas para las abejas debido al alto volumen de producción de néctar. La baja cantidad de polen y la similitud de las características melisopalinológicas entre las diferentes especies de cítricos a menudo dificultan la identificación del origen botánico de la miel de *Citrus*. Por lo tanto, es común que ésta se etiquete generalmente como miel de *Citrus*, aunque puede derivar de diferentes especies cítricas y que existan diferencias en sus propiedades (Papotti, 2012).

La miel de *Citrus* se obtiene en diferentes países entre ellos Argentina (Serra Bonvehi, 1995; Salgado 1999). Estas mieles tienen un aroma y un sabor peculiar, son de color claro y cristalizan rápidamente. Estas características asociadas a sus propiedades biológicas hacen que sean comercialmente valiosa y ampliamente deseada (Rodríguez, 2010; Seraglio 2021; Marcazzan, 2014, Roby, 2020). Aunque estos hechos también fomentan la práctica del fraude mediante el uso de ingredientes artificiales u otras mieles ligeras (Nespeca, 2020). Por lo tanto, definir el tipo polínico y la calidad fisicoquímica podría contribuir a la caracterización de las mieles de cítricos, lo que podría agregar valor a toda la cadena de producción de estas mieles.

Por ello, el objetivo del trabajo es determinar los parámetros de calidad y composición para la caracterización de mieles de limón.

2 MATERIALES Y METODOS

1.1 *Mieles*

Las muestras de mieles (n=35) son provenientes de apicultores de diferentes regiones de la provincia de Tucumán. Las muestras para análisis fueron recogidas directamente de los lotes a granel según las directrices del Codex Alimentarius para muestreo (Codex, 2004). Todas las muestras recolectadas fueron trasladadas al laboratorio en recipientes limpios e inertes con protección adecuada para evitar contaminación y deterioro. En el laboratorio las muestras fueron almacenadas en lugar fresco y oscuro hasta su análisis

1.2 *Origen botánico*

Las mieles fueron clasificadas en base al análisis melisopalinológico para su caracterización botánica. En el análisis polínico se utilizó la metodología propuesta por Louveaux, (1978).

1.3 *Análisis fisicoquímicos*

Los análisis fisicoquímicos se llevaron a cabo de

acuerdo a métodos oficiales de la AOAC (AOAC, 1995). El índice de refracción y corrección por temperatura fue empleado para la determinación del contenido de humedad (%) de las mieles (AOAC, N° 969.38). Para azúcares reductores y sacarosa aparente se utilizó el método de titulación propuesto por Fehling-Causse-Bonnans. La conductividad eléctrica (mS/cm) de las mieles fue medida en un conductímetro en una solución de miel al 20% en base seca a 20°C. Para determinar el contenido cenizas (%) se utilizó el método de calcinación de la muestra a 550°C (AOAC, N° 920.181). La acidez (meq/kg) de las mieles se determinó por titulación potenciométrica (AOAC, N° 962.19). El contenido de HMF (mg/kg) fue determinado por el método de White (AOAC, N° 980.23), en el cual se mide la absorbancia a 284 nm de una solución acuosa clarificada de miel (se mide el cromóforo del HMF). Para la cuantificación de actividad diastásica se usó el método de Horwitz (AOAC, N° 958.09). El procedimiento se basa en la capacidad de la enzima de hidrolizar el almidón. Todas las mediciones fueron realizadas por triplicado.

1.4 *Análisis estadístico*

Los valores informados son las medias y desviación estándar junto a los valores mínimos y máximos del total de las mieles (n=35 mieles). El análisis de componentes principales fue aplicado a las variables cuantitativas para el análisis exploratorio de las mieles. El software XLStat versión 2019 (Addinsoft™; New York, USA) fue empleado en el análisis de los datos.

2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Características fisicoquímicas

La Tabla 1 muestra los valores medios de los 8 parámetros de composición y calidad de las mieles, junto a los límites máximos y mínimos establecidos en el Código Alimentario Argentino (CAA, 2004) y el Codex Alimentarius (Codex, 2001). Los análisis melisopalinológicos determinaron que las mieles consideradas en el estudio corresponden a mieles de limón ya que presentaron valores frecuencia polínica mínima de 15% de polen de *Citrus Lemon*.

La madurez de las mieles se determinó por la humedad, su contenido de azúcares reductores y sacarosa aparente. En la Tabla 1, se muestra que el rango de variación de humedad es 15.91-18.65% con media de 16.73%. El contenido de azúcares reductores de las mieles analizadas fue superior al límite mínimo de 60% establecido por la reglamentación internacional. En cuanto al parámetro de sacarosa aparente hubo muestras que superaron el límite máximo establecido por el Codex Alimentarius de 5%. Sin embargo, para las mieles de *Citrus* la reglamentación internacional permite hasta un máximo de 10% de sacarosa aparente. Esto indica que las mieles analizadas fueron cosechadas con la madurez adecuada.

El deterioro de las mieles está relacionado por los parámetros de acidez libre, actividad diastásica y contenido de HMF. Un valor elevado de acidez podría indicar probable fermentación de las mieles. En el caso de las muestras analizadas los valores de acidez libre fueron en promedio de 18.27 meq/kg, indicativo de ausencia de fermentación. El HMF y la actividad diastásica son indicadores de la frescura de las mieles y el adecuado manejo durante su extracción y procesamiento. En la Tabla 1, se observa que ninguna muestra supera los límites máximos y mínimos establecidos por la reglamentación nacional e internacional para HMF y actividad diastasica, respectivamente. Por ello, los valores de los parámetros confirman que las mieles no fueron sometidas a elevadas temperaturas o un manejo inadecuado.

Una característica de calidad relacionada a su contaminación durante su extracción es el contenido de cenizas y por consiguiente, la conductividad eléctrica. Las mieles con problemas de buenas prácticas durante su extracción, adulteradas o contaminadas con residuos (tierra, arena) pueden presentar altos porcentajes de cenizas. Sin embargo, los resultados indican que la totalidad de las muestras analizadas tienen valores de cenizas y conductividad eléctrica menores a los límites máximos establecidos. Esto indica un adecuado manejo de las mieles durante su extracción y procesamiento.

De acuerdo a los resultados obtenidos las mieles analizadas pueden ser consideradas aptas para su comercialización tanto en el mercado interno como en el internacional. En general los valores de los parámetros fisicoquímicos confirman que las muestras corresponden a mieles de origen floral.

Se pueden utilizar los parámetros fisicoquímicos no solo para evaluar la calidad de las mieles para su comercialización (Guler, 2007), sino también para caracterizarlas como originarias de una determinada región u origen botánico (Terrab, 2004).

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos de las mieles de Citrus

Parámetros fisicoquímicos	Media±DE Min-max	CA	CAA
Humedad (%)	16.73±0.46 15.91-18.65	20 (max)	18 (max)
Azúcares Reductores (%)	69.98±2.58 64.3-74.25	60 (min)	65 (min)
Sacarosa aparente (%)	4.83±0.85 3.11-6.24	5 (max)	8 (max)
Cenizas (%)	0.10±0.03 0.03-0.17		0.6 (max)
Acidez libre (meq/kg)	17.65±2.67 12.70-28.11	50 (max)	40 (max)
CE (mS/cm)	0.39 ±0.06 0.26-0.57	0.8 (max)	
Actividad diastásica (ND)	23.79 ±6.57 12.04-36.73	8 (min)	8 (min)
HMF (mg/kg)	17.74±4.66 11.77-32.85	40 (max)	40 (max)

DE: Desviación estándar
CA: Codex alimentarius
CAA: Código alimentario argentino
HMF: Hidroximetilfurfural
CE: Conductividad eléctrica

3.2 Análisis de componentes principales

En la Fig. 1 se muestra el mapa proyectivo de de los factores (F), F1-F2 del ACP que permite explorar la distribución de las muestras de mieles y su relación con las variables. El contenido de HMF y la actividad diastásica fueron tratadas como variables suplementarias en el ACP ya que no están relacionados a su origen botánico. Los factores F1-F2 explican 73.48% de la variabilidad total de los datos. Las variables de cenizas, conductividad eléctrica y acidez libre muestran una asociación positiva con F1, (Fig. 1a). La acidez libre y la conductividad eléctrica son ampliamente empleadas como variables discriminantes por su alta variabilidad para diferenciar mieles según su origen botánico (Rios, 2014). En este caso, el contenido de cenizas es la variable de mayor heterogeneidad (Coeficiente de variación=30%), seguido de sacarosa aparente (CV=17.42%) lo que indica que las mieles pertenecen a un mismo origen botánico. La baja variabilidad entre las mieles se observa en su cercanía al baricentro del ACP, (Fig. 1b). La Tabla 2 muestra la matriz de correlación de Pearson para las variables fisicoquímicas. La correlación positiva entre el contenido de cenizas y la conductividad eléctrica (r=0.80) observada en el extremo positivo de F1 fue reportada por diferentes autores para mieles de origen floral (Rios, 2014). También existe una correlación positiva entre la conductividad eléctrica y la acidez libre (r=0.90) la que estaría relacionada a los protones provistos por los ácidos. La baja correlación entre el contenido de humedad y la acidez libre (r=0.60) indica que las mieles no fueron contaminadas por un proceso de fermentación, lo que confirma el tratamiento adecuado de las mieles por los apicultores.
Las variables asociadas a F2 son el contenido de azúcares reductores y sacarosa aparente aunque su capacidad discriminante es baja. Lo anterior permite destacar la baja heterogeneidad de las muestras en el factor F2, lo que confirma que las mieles pertenecen a un mismo origen botánico. Por otro lado, la variabilidad observada entre las muestras podría estar relacionada al origen geográfico ya que las mieles pertenecen a un mismo origen botánico e idéntica temporada de cosecha, y debido a que las condiciones de extracción no mostraron influencia en los parámetros de calidad.

4. CONCLUSIÓN

La caracterización de las mieles por sus propiedades fisicoquímicas se asocia a sus orígenes botánicos y geográficos, que junto a la identificación polínica pueden contribuir a la diferenciación y autenticidad de las mieles de limón. Los resultados en general corroboran que las mieles de Tucumán cumplen con las especificaciones fisicoquímicas establecidas en la reglamentación nacional e internacional para su comercialización y consumo. También los resultados muestran las buenas prácticas de los apicultores en la extracción y manejo de las mieles de los diferentes apiarios.

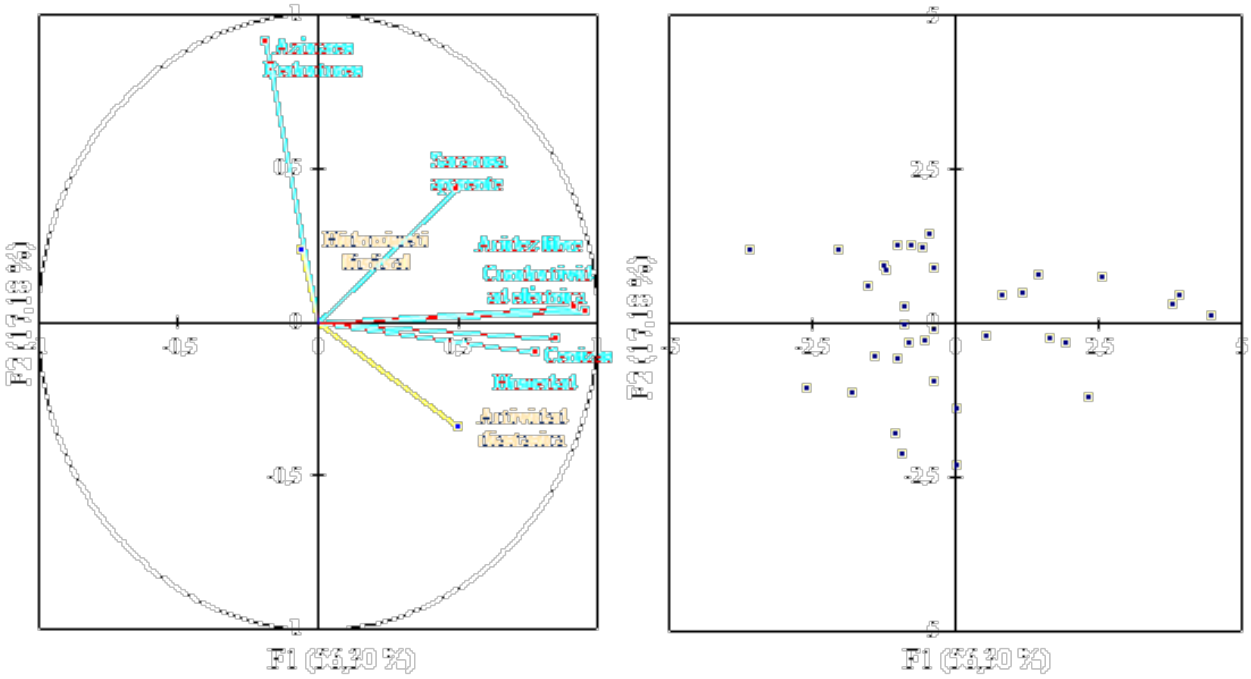


Figura 1. Análisis de componentes principales aplicado a los datos fisicoquímicos de las mieles. a) loadings de las variables, b) scores de las muestras

Tabla 2. Matriz de correlación Pearson (n-1).

Variables	Humedad	Azúcares Reductores	Sacarosa aparente	Cenizas	Acidez libre	Conductividad eléctrica	Actividad diastasica	Hidroximetilfurfural
Humedad	1							
Azúcares Reductores	-0.17	1						
Sacarosa aparente	0.29	0.03	1					
Cenizas	0.52	-0.15	0.28	1				
Acidez libre	0.62	-0.09	0.36	0.75	1			
Conductividad eléctrica	0.69	-0.12	0.40	0.80	0.91	1		
Actividad diastasica	0.42	-0.39	0.05	0.38	0.52	0.49	1	
Hidroximetilfurfural	0.04	0.32	-0.11	-0.08	-0.11	0.06	-0.20	1

Las variables de Actividad diastasica e Hidroximetilfurfural fueron usada como suplementarias en al ACP.

5. AGRADECIMIENTOS

Facultad de Ingeniería. Centro Interdisciplinario de Investigaciones en Tecnologías y Desarrollo Social para el NOA (CIITED)-CONICET-Universidad Nacional de Jujuy

6. REFERENCIAS

Alvarez-Suarez, J. M., Tulipani, S., Romandini, S., Bertoli, E., & Battino, M. .Contribution of honey in nutrition and human health: a review. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, *3*(1), 15-23, 2010.

AOAC, *Official Methods of Analysis of AOAC International*, Ed Official Methods of Analysis, Arlington, VA, USA, 1995

Codex Alimentarius , Standard for Honey Codex Alimentarius Commission FAO/OMS Rome 1-8, 2001.

Codex alimentarius, Guidelines. General Guidelines on Sampling. CCMAS, CXG 50-2004, 2004: 1-69, 2004

Código Alimentario Argentino (CAA), Capitulo X: Productosazúcarados Art. 767-818, 2004.
Córdova, C. I., Ramírez-Arriaga, E., Martínez-Hernández, E., y Zaldívar-Cruz, J. M. Caracterización botánica de miel de abeja (Apis mellifera L.) de cuatro regiones del estado de Tabasco, México, mediante técnicas melisopalinológicas. *Universidad y ciencia*, 29(2), 163-178, 2013
Guler, A., A. Bakan, C. Nisbet & O. Yavuz, Determination of important biochemical properties of honey to discriminate pure and adulterated honey with sucrose (*Saccharum officinarum* L.) syrup, *Food Chemistry,* 105, 1119-1125, 2007
Isla, M. I., Craig, A., Ordoñez, R., Zampini, C., Sayago, J., Bedascarrasbure, E, Alvarez, A., Salomón, V., y Maldonado, L. Physico chemical and bioactive properties of honeys from Northwestern Argentina. *LWT-Food Science and Technology,* 44(9), 1922-1930, 2011
Karabagias, I. K., Karabournioti, S., Karabagias, V. K., & Badeka, A. V. Palynological, physico-chemical and bioactivity parameters determination, of a less common Greek honeydew honey:"dryomelo". *Food Control*, *109*, 106940, 2020.
Louveaux, J., Maurizio, A., & Vorwohl, G. (1978). Methods of melissopalynology. *Bee world*, *59*(4), 139-157, .1978.
Mandal, M. D., & Mandal, S. Honey: its medicinal property and antibacterial activity. *Asian Pacific journal of tropical biomedicine*, *1*(2), 154-160, 2011
Marcazzan, G. L., Magli, M., Piana, L., Savino, A., & Stefano, M. A. Sensory profile research on the main Italian typologies of monofloral honey: possible developments and applications. *Journal of Apicultural Research*, *53*(4), 426-437, 2014.
Nespeca, M. G., Vieira, A. L., Júnior, D. S., Neto, J. A. G., & Ferreira, E. C. Detection and quantification of adulterants in honey by LIBS. *Food chemistry*, *311*, 125886, 2020.
Papotti, G., Bertelli, D., & Plessi, M. Use of HS-SPME-GC-MS for the classification of I talian lemon, orange and citrus spp. honeys. *International journal of food science & technology*, 47(11), 2352-2358, 2012.
Rios, F.; Sanchez, A. C.; Lobo, M.; Lupo, L.; Coelho, I.; Castanheira, I.; Samman, N. *Journal of Chemometrics*, 28, 834–843, 2014.
Roby, M. H., Abdelaliem, Y. F., Esmail, A. H. M., Mohdaly, A. A., & Ramadan, M. F. Evaluation of Egyptian honeys and their floral origins: phenolic compounds, antioxidant activities, and antimicrobial characteristics. *Environmental Science and Pollution Research*, *27*(17), 20748-20756, 2020.
Rodriguez, I., Salud, S., Galan, H., Ubera, J. L., Jodral, M. Characterisation of Sierra Morena citrus blossom honey (Citrus sp). International Journal of Food Science & Technology, 2010
Salgado, C. R., & Pire, S. M. Contribución al conocimiento del contenido polínico de mieles de Corrientes, Argentina. *Publicación Electrónica de la Asociación Paleontológica Argentina*, *6*(1), 1999
Seraglio, S. K. T., Schulz, M., Brugnerotto, P., Silva, B., Gonzaga, L. V., Fett, R., & Costa, A. C. O. Quality, composition and health-protective properties of citrus honey: A review. *Food Research International*, 110268, 2021
Serra Bonvehi, J., & Ventura Coll, F. Characterization of citrus honey (Citrus spp.) produced in Spain. *Journal of Agricultural and food chemistry,* 43(8), 2053-2057, 1995.
Serrano, S., M. Villarrejo, R. Espejo & M. Jodral, Chemical and physical parameters of Andalusian honey: classification of Citrus and Eucalyptus honeys by discriminat analysis, *Food Chemistry*, 87, 619-625, 2004
Tamaño, M. G., Locaso, D. E., Giudici, V., Maffioly, R. H., Pisonero, M. O., Arambillete, A. C. B., Dellacassa Beltrame, E. S., Iriarte, L. F., y Fagundez, G. A. Determinación de marcadores de origen botánico para mieles de citrus (citrus spp) de la región fronteriza: Concordia (República Argentina)–*Salto (República Oriental del Uruguay). Ciencia, Docencia y Tecnología Suplemento*, 9(9), 2019
Terrab, A., A.F Recamales, D. Hernanz D & F.J. Heredia, Characterisation of Spanish thyme honeys by their physicochemical characteristics and mineral contents, *Food Chemistry,* 88, 537-542, 2004.

Caracterización de la anatomía foliar de cuatro malezas en control con glifosato

Catán, Alejandra[1]; Targa Villalba, María G.[1]; Degano, Claudia A.[1] y Fraño, Alicia L. [1]

Laboratorio de Botánica General. Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero. alecatan17@gmail.com, *magatavi@gmail.com, claudegar@yahoo.com.ar, opuntiaali@gmail.com*

RESUMEN

Las malezas son importantes competidoras de los cultivos por luz, nutrientes y agua. En el rebrote primaveral de las gramíneas se considera esencial el control de las plantas invasoras para asegurar una buena calidad de pasturas. El presente estudio se realizó durante el rebrote de pasturas megatérmicas con el objetivo de determinar los cambios en la anatomía foliar de plantas consideradas malezas: *Clematis montevidensis*, *Glandularia peruviana*, *Solanum eleagnifolium* y *Pascalia glauca*. En áreas previamente marcadas, se recolectaron las hojas de estas malezas, en fecha previa a la aplicación del herbicida Glifosato y en dos fechas posteriores a la misma. Las hojas se trabajaron con técnicas convencionales para la obtención de cortes transversales y se observaron con microscopio óptico. Se midieron los parámetros: espesor total de lámina, espesor total de mesófilo, espesor de epidermis superior, espesor de epidermis inferior, diámetro de vaina y espesor de cutícula superior e inferior. Los parámetros más afectados por el herbicida fueron cutículas y mesófilo total, llegando a destrucción de ambos parénquimas en *G. peruviana*. Menos diferencias con el testigo se encontraron en *C. montevidensis* y *P. glauca*, para las dos fechas, aunque manifestaron daños a nivel de epidermis y mesófilo.

Palabras claves: anatomía foliar, glifosato, malezas

ABSTRACT

Weeds are important competitors of crops for light, nutrients and water. During the spring regrowth of grasses, control of weeds is essential to ensure good quality for pastures. This study was carried out during the regrowth of megathermal pastures, to determine the changes in the foliar anatomy of the following weeds: *Clematis montevidensis*, *Glandularia peruviana*, *Solanum eleagnifolium* y *Pascalia glauca.* Leaves were collected in previously marked areas, before and after the application of herbicide Glyphosate. Leaves were prepared with conventional techniques to obtain cross sections and were observed with an optical microscope. Parameters studied were: total leaf blade thickness, total mesophyll thickness, upper epidermis thickness, lower epidermis thickness, sheath diameter, and upper and lower cuticle thickness. The most affected parameters by the herbicide were cuticles and total mesophyll, reaching destruction of both parenchyma in *G. peruviana*. Fewer differences with the control were found in *C. montevidensis and P. glauca*, but they showed damage to the epidermis and mesophyll.

Key words: leaf anatomy, glyphosate, weeds

1. INTRODUCCIÓN

Las malezas son importantes competidores de los cultivos por espacio, luz y nutrientes. La competitividad llega a limitar la producción, y en el caso de cultivos de pasturas dificulta el rebrote de las mismas, con las consecuencias que esto implica. La calidad de las pasturas se ve afectada por la presencia de las malezas, que producen decrecimiento de la calidad y el rendimiento de la alimentación para el ganado. La productividad animal se ve indirectamente impactada por la presencia de estas plantas invasoras en los campos de pastoreo, ya que las mismas son más eficientes en la competencia por luz, suelo y agua que las pasturas (Anesio et al., 2017).

La intensificación requerida en la producción de forrajeras, ha llevado al uso de agroquímicos, entre ellos los herbicidas, con el fin de mejorar rendimientos. Entre todos los herbicidas usados, el glifosato representa la mayor proporción del volumen total (Montoya et al., 2018).

El glifosato actúa inhibiendo la enzima 5-enolpiruvil-chiquimato-3-fosfato-sintase (EPSPS). El efecto que produce es la supresión de la producción de aminoácidos aromáticos esenciales como la fenilalanina, tirosina y triptófano, que son precursores de metabolitos secundarios tales como la lignina, alcaloides, flavonoides, etc.; que son indispensables para el crecimiento de planta. El glifosato se transporta por todo el cuerpo de las plantas, vía floema, y las mismas mueren en pocos días o semanas (Galvan et al., 2012, Reis et al., 2018, Santos et al., 2020).

El estudio de la anatomía de las plantas tratadas con glifosato, proporciona información acerca del impacto de este herbicida en las mismas (Tuffi Santos et al., 2008, Santos et al., 2020). Algunos autores observaron variaciones en el espesor del mesófilo en función de la dosis aplicada y el tiempo transcurrido (Reis et al., 2018).

Cuando el herbicida se pone en contacto con las células de la epidermis, produce daño en la cutícula y facilita su translocación en el mesófilo, con las consecuencias en el crecimiento que esto implica (Lallana et al., 2006).

El glifosato es más eficiente de acuerdo al momento de la aplicación. A mayor temperatura y humedad es mayor la eficiencia, debido a que se produce el ablandamiento de las ceras epicuticulares (López y Villalba, 2013). Las características morfológicas de las hojas están estrechamente relacionadas al efecto del herbicida aplicado y el grado de absorción del mismo (Ruchel et al., 2015).

El objetivo del presente trabajo fue observar la variación de la anatomía foliar de hojas tratadas con glifosato en dos fechas posteriores a la aplicación del mismo.

Las plantas estudiadas fueron: *Clematis montevidensis*, *Glandularia peruviana*, *Solanum eleagnifolium* y *Pascalia glauca*.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en el campo experimental de sede El Zanjón de la Facultad de Agronomía de Santiago del Estero, ubicado en Ruta 9, s/n, localidad de El Zanjón (27° 45´S, 64° 18´W, 170 m.s.n.m.). El área de estudio se encuentra en la provincia de Santiago del Estero, que posee un clima con características de condiciones semiáridas en gran parte de su extensión, con precipitaciones promedios anuales de 575 mm distribuidos en el periodo estival, que abarca desde octubre y hasta marzo, siendo el balance hídrico anual negativo. Las temperaturas medias anuales máximas y mínimas son de 29º y 5º respectivamente, con valores extremos de temperaturas máximas y mínimas de 47ºC y -10ºC. Los veranos son tórridos y los inviernos breves y secos. Este tipo climático les otorga a estos ecosistemas la característica de frágiles a la vez que adversas para el crecimiento del vegetal (Torres Bruchmann, 1981; Basualdo, 1995).

Se trabajó en pasturas megatérmicas, al momento de reiniciar el rebrote primaveral, Se arrojaron al azar 5 marcos de 0,25 m^2, para identificar las malezas, realizar la aplicación del herbicida y proceder a los sucesivos muestreos en dichos recuadros. Se realizaron 3 muestreos, los mismos siempre consideraron hojas adultas y completamente desarrolladas de las plantas indicadas como malezas en este cultivo. La primera recolección de hojas fue para identificar las características micromorfológicas de las plantas (F0). Posteriormente se realizó la aplicación del glifosato de concentración de 0,2 mg/L, realizado con mochila. Diez días posteriores a la aplicación, correspondiente a la fecha 1 se recolectaron hojas de cada maleza (F1) en los marcos preestablecidos. Se procedió de idéntica forma, 7 días después, correspondiente a la fecha 2 (F2). En cada recolección se tomaron 5 hojas en cada marco y de cada especie. Las hojas se trabajaron con técnicas convencionales de deshidratación en alcoholes e inclusión en parafina, posterior corte en micrótomo y tinción diferencial con montaje permanente en bálsamo de Canadá (Johansen, 1940). Se realizó la descripción del mesófilo de cada una de las láminas foliares de cada especie en la F0, para poder realizar la comparación de las mismas en las fechas subsiguientes a la aplicación del herbicida, destacando la disposición del mesófilo y la vaina en cada caso, puesto que estas son las estructuras más afectadas con el glifosato (Galvan et al., 2012).

Los parámetros foliares estudiados fueron: espesor total de lámina, espesor total de mesófilo, espesor de epidermis superior, espesor de epidermis inferior, diámetro de vaina y espesor de cutícula superior e inferior. Las observaciones y cuantificaciones se hicieron con microscopio con cámara y software MOTIC, contabilizando 15 observaciones en total para cada fecha y especie. Se realizó un análisis estadístico (ANOVA) y las diferencias se determinaron con test de Fisher al 0,05%, usando el soft estadístico Infostat (Di Rienzo et al., 2019)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El mesófilo de *C. montevidensis* tiene estructura dorsiventral con 2 filas de parénquima en empalizada muy compacto, y mesófilo lagunoso compacto de 3 a 4 filas de células, diferenciándose este resultado a lo observado por Pérez Cuadra y Cambi (2014). En *C. montevidensis* se observó que la aplicación de herbicida afectó a los parámetros lámina total, epidermis superior, epidermis inferior, mesófilo total, cutícula superior y cutícula inferior con disminución en los espesores de todos ellos en las F1 y F2 respecto de F0, mientras que se observó aumento de diámetro de vaina para las dos fechas con herbicida. (Tabla 1, Figuras 1 y 2). Idénticos resultados fueron encontrados por Reis et al (2018) en cultivares de café afectados con glifosato. Se observa en la F1, más espacios intercelulares en el parénquima lagunoso. En F2 se observa desorganización del parénquima en empalizada y del lagunoso, perdiendo un poco la compacidad.

Tabla 1: Parámetros anatómicos foliares de *C.montevidensis*. F0: antes de la aplicación, F1: 10 días posteriores a la aplicación y F2: 17 días posteriores a la aplicación. Valores de cada variable seguidos de igual letra, no difieren según el Test LSD Fisher alfa=0,05

Parámetro anatómico	F0	F1	F2
Lámina total	356,28b	193,59a	200,67a
Epidermis superior	31,41b	19,93a	18,29a
Epidermis inferior	27,85b	17,12a	16,99a
Mesófilo total	294,87b	148,18a	169,77a
Cutícula superior	14,27c	10,77b	6,92a
Cutícula inferior	13,42c	10,59b	7,37a
Diámetro de vaina	34,27a	56,11b	51,99b

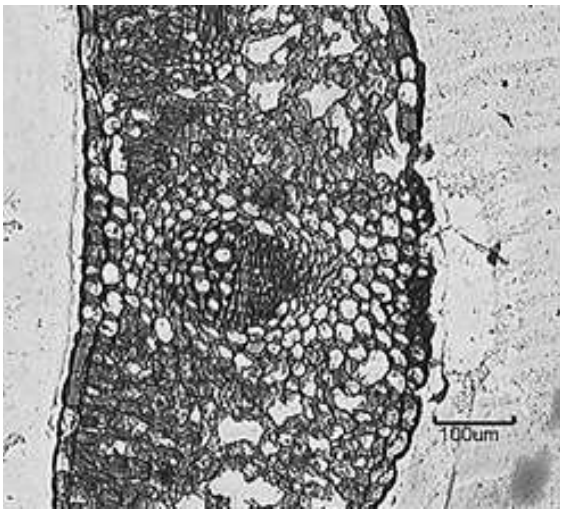


Figura 1: *C. montevidensis*. Corte transversal de lámina en F0.

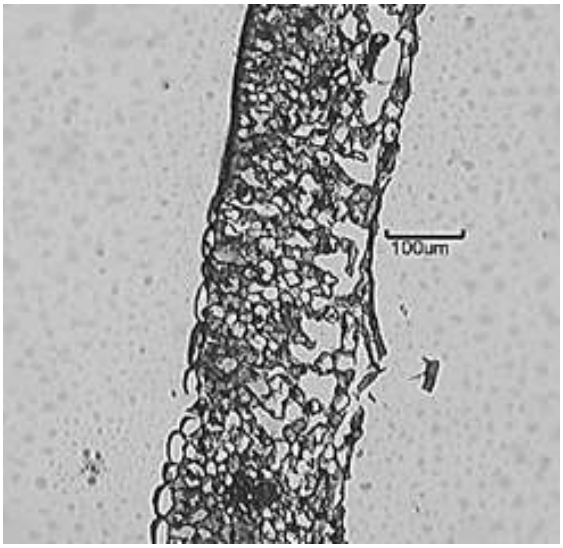


Figura 2: *C. montevidensis*. Corte transversal de lámina en F2

La estructura mesofílica de *G. peruviana* es dorsiventral, con parénquima en empalizada medianamente compacto, formado por 1-2 filas de células y el lagunoso laxo, con células más cortas que el anterior; en contraste al mesófilo mixto con parénquima esponjoso compacto descripto por Lujan et al (2004). La vaina parenquimática incolora rodea a los haces, es muy manifiesta, con grandes células parenquimáticas y se observa colénquima subepidérmico. Esta especie fue la más afectada en el parámetro lamina total, ya que tuvo su mínimo espesor en la F2, pero en epidermis superior ambas fechas tuvieron menor espesor respecto de F0. Hubo diferencias a nivel de mesófilo total en F2, observándose ambos parénquimas con menor volumen de espacios intercelulares, idénticos

resultados fueron encontrados por Galvan et al (2012) en otras especies sensibles al glifosato. En F2 las células del parénquima pierden su forma sin identificarse en esponjoso y empalizada, quedando el mesófilo contenido entre las células epidérmicas (Tabla 2, Figuras 3 y 4). La destrucción de las vainas que rodean al haz en la F2 fue total, de modo tal que no fue posible la medición de las mismas, y solo se observan los elementos xilemáticos. En esta especie, el mayor impacto se observa a nivel de vaina parenquimática. Pero en F (2) hay colapso de todos los parámetros observados. Las cutículas de ambas epidermis en esta especie son las más delgadas de todo el estudio, lo que explicaría la acción del herbicida, por la facilidad de penetración del mismo ante barreras epidérmicas de mínimo espesor, como lo estudiado por Monquero et al (2005) y Ulguim et al (2017).

Tabla 2: Parámetros anatómicos foliares de *G. peruviana*. F0: antes de la aplicación, F1: 10 días posteriores a la aplicación y F2: 17 días posteriores a la aplicación.Test LSD Fisher alfa=0,05

Parámetro anatómico	F0	F1	F2
Lámina total	161,06c	141,28b	99,78a
Epidermis superior	18,14b	13,63a	14,13a
Epidermis inferior	13,83a	14,32a	13,43a
Mesófilo total	124,68b	114,28b	71,33a
Cutícula superior	5,35a	5,79a	5,12a
Cutícula inferior	7,13b	6,17ab	5,67a

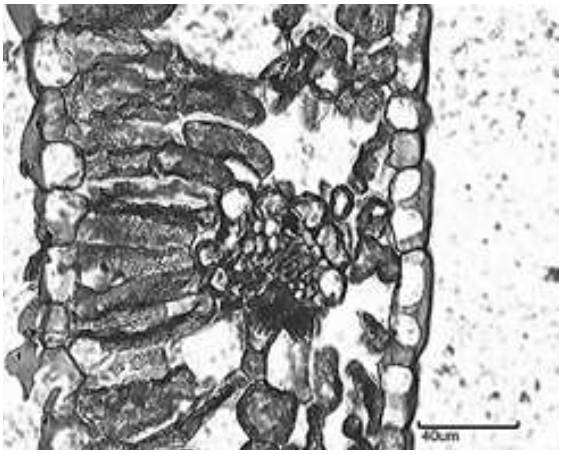


Figura 3: *G. peruviana*. Corte transversal de lámina en F0.

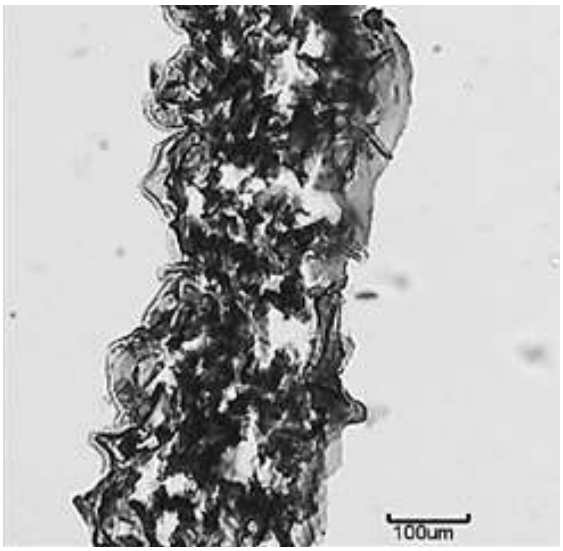


Figura 4: *G. peruviana.* Corte transversal de lámina en F2.

S. eleagnifolium presenta estructura anatómica foliar isolateral con parénquima en empalizada compacto con una sola fila hacia la cara adaxial y hacia la cara abaxial presenta 2-3 filas más laxas. En total, se observan 4-5 filas de clorénquima, los espacios intercelulares son escasos, idéntico a lo observado por Cosa et al (1998). La vaina media sobresale hacia ambas caras de la hoja, presentando abundante colénquima, rodeando la vaina parenquimática del haz vascular, dispuesto hacia ambas fases de la lámina. En *S. eleagnifolium* se observó disminución significativa de espesor de lámina total y mesófilo total desde F0, a F1 y a F2. La epidermis superior y la cutícula superior manifiestan diferencia entre el F0 con ambas fechas de muestreo, siendo en ambos casos el mayor valor para F0. En cutícula inferior, la diferencia significativa de menor valor es para F2, resultados también observados por Ulguim et al., (2017). En F1 se observa alguna ruptura de la epidermis adaxial y aumento de espacios intercelulares en parénquima esponjoso. En F2 hay disminución del tamaño celular, grandes espacios intercelulares y ruptura de células del esponjoso, pero el parénquima en empalizada mantiene la estructura (Tabla 3, figuras 5 y 6); estos resultados son coincidentes con los observados por Galvan et al., (2012), para especies tolerante-resientes al glifosato.

Tabla 3: Parámetros anatómicos foliares de *S. eleagnifolium*. F0: antes de la aplicación, F1: 10 días posteriores a la aplicación y F2: 17 días posteriores a la aplicación. Test LSD Fisher alfa=0,05

Parámetro anatómico	F0	F1	F2
Lámina total	374,80c	298,91b	225,13a

Epidermis superior	31,39b	21,10a	24,09a
Epidermis inferior	19,14a	16,91a	17,35a
Mesofilo total	328,39c	254,25b	188,65a
Cutícula superior	11,92b	10,00a	9,45a
Cutícula inferior	9,63b	10,93b	7,08a
Diámetro de vaina	62,35b	54,64a	58,38ab



Figura 5 *S. eleagnifolium.* Corte transversal de lámina en F0.

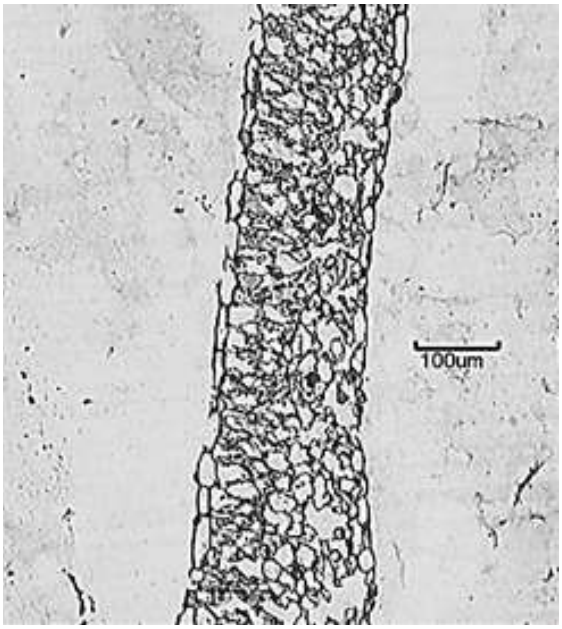


Figura 6 *S. eleagnifolium.* Corte transversal de lámina en F2.

La estructura interna de *P. glauca* muestra un mesófilo isolateral, con 2 filas de células en empalizada dispuestas por debajo de las ambas epidermis, el parénquima esponjoso es delgado y con marcados espacios intercelulares. Presenta canales secretores esquizógenos asociados a los haces vasculares, tal como fuera observado por Hernandez y Arambarri (2018). Se observa que la vaina del haz tiene extensiones hacia ambas epidermis. Los resultados con el glifosato indicaron en *P. glauca*, disminución significativa del espesor de lámina total, mesófilo total, epidermis superior y epidermis inferior en F2; mostrando que recién en la segunda fecha de muestreo, *P. glauca* muestra impacto por herbicida. En ambas cutículas se observa disminución significativa de ambas fechas respecto de F0, lo que implicaría mayor absorción del herbicida por epidermis, facilitado por una cutícula de mínimo espesor para esa fecha, tal como es citado por Monquero et al., (2005) y Ulguim et al., (2017). En el parénquima en empalizada abaxial se observa ruptura celular en F1, mientras que en F2 las células pierden su estructura y se produce separación de paredes en todo el mesófilo, pero se conservan las vainas (Tabla 4, Figuras 7 y 8).

Tabla 4: Parámetros anatómicos foliares de *P. glauca*. F0: antes de la aplicación, F1: 10 días posteriores a la aplicación y F2: 17 días posteriores a la aplicación. Test LSD Fisher alfa=0,05

Parámetro anatómico	F0	F1	F2
Lámina total	288,65b	277,02b	205,77a
Epidermis superior	23,47b	23,61b	15,05a
Epidermis inferior	18,59b	23,11c	14,67a
Mesofilo total	249,75b	237,33b	177,68a
Cutícula superior	10,97b	8,43a	7,51a
Cutícula inferior	12,77b	8,25a	7,61a
Diámetro de vaina	52,61a	61,48b	54,02ab

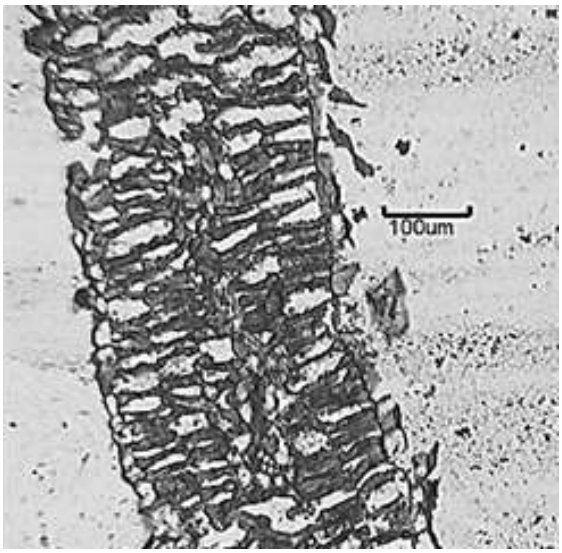


Figura 7 *P. glauca.* Corte transversal de lámina en F0.

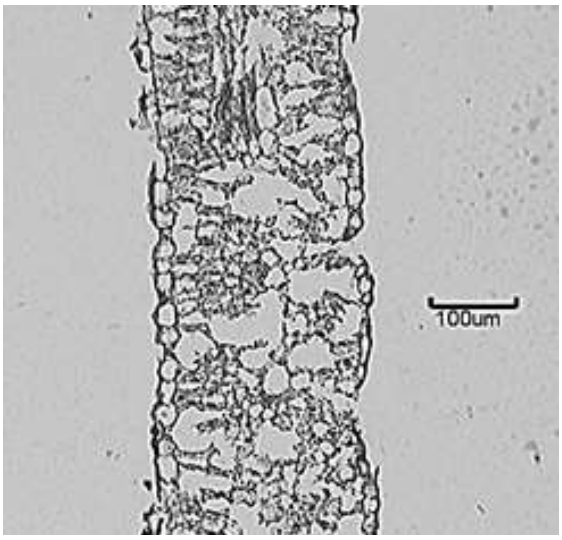


Figura 8 *P. glauca.* Corte transversal de lámina en F2.

4. CONCLUSIONES

Los parámetros medidos demostraron que existen diferencias en todos los valores, a medida que transcurren las fechas, observándose, en general, que los mismos disminuyen desde F0 hasta F2, lo que podría indicar que estas especies acusan el impacto de la acción del glifosato, destacándose la destrucción total de la lámina de *G. peruviana*.

Es de resaltar la importancia de las cutículas como barrera al ingreso de este herbicida, puesto que, en las especies de mayor espesor de cutícula, fundamentalmente sobre la cara adaxial, el accionar del herbicida recién se vuelve notorio a partir de la segunda fecha, como ocurre en *C. montevidensis* y *P. glauca*.

5. AGRADECIMIENTOS

El grupo de trabajo de Botánica General, agradece a Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Santiago del Estero, la posibilidad de la realización de esta investigación por facilitar las instalaciones y los equipos para trabajar

6. REFERENCIAS

Anésio, A.H.C., M.V. Santos, R.R. Silveira, E.A. Ferreira, T.G.S. Braz, L.D. Tuffi Santos, J.B. Santos, Herbicide selectivity to signal grass and congo grass, *Planta Daninha*; v35: e01157521, 2017.

Basualdo M.A. *Sociedad y territorio. Geografía global de Santiago del Estero,* Edición Centro, 1era edición, Argentina, 1995.

Cosa, M. T.; G. Bruno, N.Dottori, Anatomía de los órganos vegetativos en *Solanum juvenale* y su comparación con *S. elaeagnifolium* (Solanaceae), *Anales del Instituto de Biología*. Serie Botánica, 69 (1), 9-22, 1998.

Di Rienzo J.A., Casanoves F, Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M. Robledo C. W. *Infostat versión 2019,* Centro de transferencia Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, 2019.

Galvan, J., M.A. Rizzardi, C.M. Carneiro, M.A. Bianchi, Anatomía foliar de *Lolium multiflorum* sensível e resistente ao glyphosate, *Planta Daninha*, 30 (2) 407-413, 2012.

Hernandez, M. y A.M. Arambarri, Anatomía y aceites esenciales en los órganos de *Pascalia glauca* (Asteraceae), *Dominguezia*, 34 (S) p35, 2018.

Johnasen, D.A. *Plant microtechnique*, Ed.McGraw-Hill Book Company, 1940.

Lallana M. del C., C. E. Billard, J. H. Elizalde, V. H Lallana, Breve revisión sobre características de la cutícula vegetal y penetración de herbicidas, *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 33, 229-241, 2006.

López F., J. Villalba, Efecto del horario de aplicación y el tamaño de gota en la eficiencia de glifosato, *Cangüé*. 33, 19-24, 2013.

Luján M. C, N. Bonzani, E. Filippa, & G. E. Barboza, Las "fumarias" (Fumaria spp., Fumariaceae) de Uso Etnomédico en Argentina y sus Adulterantes, *Acta Farm. Bonaerense* 23 (2): 154-64, 2004.

Monquero P.A., J.C. Cury, e P.J. Christoffoleti, Controle pelo glyphosate e caracterização geral da Superfície foliar de *Commelina benghalensis, Ipomoea hederifolia, Richardia brasiliensis* e *Galinsoga parviflora*, *Planta Daninha*, 23(1), 123-132, 2005.

Montoya, J., G. Berhongaray, y N. Romano, *Manejo de malezas en pasturas perennes en base a leguminosas,* Instituto nacional de tecnología agropecuaria, Centro Regional La Pampa-San Luis, Ed INTA 34pp, 2018.

Perez Cuadra V. y V. Cambi, Ocurrencia de caracteres anatómicos funcionales foliares y caulinares en 35 especies Xero-halófilas, *Bol. Soc. Argent. Bot,* 49 (3): 347-359, 2014.

Reis, L.A.C., F.P. Carvalho, A.C. França, D.M.T. Francino, N.A.V.D. Pinto, A.F. Freitas, Leaf morphoanatomy and biochemical variation on coffee cultivars under drift simulation of glyphosate, *Planta Daninha,* 2018; e018143560

Ruchel, Q., L. Vargas, D. Agostinetto, J.A. Fernando, R. Lüdtke, e V.L. Bobrowski, Caracterização morfoanatômica, contagem cromossômica e viabilidade polínica de biótipos de azevém suscetível e resistentes ao herbicida glyphosate, *Planta Daninha*, 33 (3), 567-578, 2015.

Santos, V. R. S., A. J. Crispim Filho, M. M. Santana, A. C. Costa, K. L. F. Silva, Análises fisiológicas e morfoanatômicas de *Cenostigma macrophyllum* Tul. (Fabaceae) submetida a diferentes concentrações de glifosato. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais. Ibero-American Journal of Environmental Sciences* - 11 (5), 159-173, 2020.

Torres Bruchmann E., *Climatología general y agrícola de la provincia de Santiago del Estero*, Ed. Universidad Nacional de Tucumán, Publicación N°1301, 1981.

Tuffi Santos, L.D., B.F. Sant'anna-Santos, R.M.S.A. Meira, R.A.S., Tiburcio, F.A. Ferreira, C.A.D. Melo, E.F.S. Silva, Danos visuais e anatômicos causados pelo glyphosate em folhas de Eucalyptus grandes, *Planta Daninha*, 26 (1), 9-16, 2008.

Ulguim, A.R., J.J. Franco, J.D.G. Silva, D. Agostinetto, L. Vargas, Evaluation of the mechanism responsible for the low-level resistance to glyphosate in goosegrass, *Planta daninha,* 35, 1-11, 2017.

Caracterización de las unidades de producción apícolas presentes en el departamento Silípica Santiago del Estero

Céspedes, Fernando N.[1]; Coronel, Marta[2]; Grimaldi, Pablo A.[3,4] y Carrizo, Elizabeth[1]

(*1) Cátedra de Botánica Agrícola, Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero*
fcespedes@unse.edu.ar; fernandonicolascespedes@gmail.com
(2) Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero
(3) Laboratorio Ecotono, INIBIOMA-CONICET
(4) Centro de Investigaciones Apícolas (CEDIA), Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero

RESUMEN

La apicultura es una actividad de importancia económica, social y ambiental. En Argentina la cadena apícola se encuentra caracterizada y documentada en distintas provincias, sin embargo, para Santiago del Estero muchos aspectos aún son desconocidos. Se realizó una primera aproximación para identificar las principales características de la actividad en Silípica, Santiago del Estero. Se entrevistaron 17 apicultores sobre aspectos sociodemográficos, manejo, producción y comercialización. De acuerdo al número de colmenas, homogeneidad, heterogeneidad y relevancia de los apiarios, se identificó: estrato bajo (EB), medio (EM) y alto (EA). El número de apicultores, incorporación a la actividad, grado de complementariedad y formación varió entre estratos. La estructura de producción, insumos demandados y mano de obra incrementó con los estratos, siendo la mano de obra familiar alta en EB/EM y la rentada en EA. El volumen de producción y la diversificación resultó mayor en EA. La comercialización fue principalmente fraccionada en EB y a granel en el EA. Las prácticas de manejo y mantenimiento del apiario fueron similares entre estratos. La apicultura en Silípica es una actividad con importantes potencialidades y desafíos. Estos últimos deberían ser abordados desde las instituciones y trabajar en aspectos relacionados a la organización y comercialización de la producción.

ABSTRACT

Beekeeping is an activity of economic, social and environmental importance. In Argentina the beekeeping chain is characterized and documented in different provinces, however, for Santiago del Estero many aspects are still unknown. A first approach was made to identify the main characteristics of the activity in Silípica, Santiago del Estero. 17 beekeepers were interviewed on sociodemographic aspects, management, production and marketing. According to the number of hives, homogeneity, heterogeneity and relevance of the apiaries, it was identified: low stratum (EB), medium (EM) and high (EA). The number of beekeepers, incorporation to the activity, degree of complementarity and training varied between strata. The structure of production, inputs demanded and labor increased with the strata, with family labor being high in EB / EM and rented in EA. The volume of production and diversification was higher in EA. The commercialization was mainly fractioned in EB and in bulk in EA. The management and maintenance practices of the apiary were similar between strata. Beekeeping in Silípica is an activity with significant potential and challenges. The latter should be approached from the institutions and work on aspects related to the organization and commercialization of production.

Palabras claves: apicultura-estratos-productores-miel

Keywords: beekeeping-strata-producers-honey

1. INTRODUCCIÓN

La apicultura es considerada uno de los manejos animales más antiguos conocidos (Bradbear 2009). Su importancia económica y social (Messina et al., 2014) puede atribuirse a la generación de empleo e ingresos entre productores rurales (Goslino, 2017; González Troche, 2019), como a su aporte en la polinización de cultivos (Del Vitto y Petenatti, 2015). La producción y comercialización de miel, se concentra principalmente en la cría de *Apis mellifera* (Zamudio, 2012; Céspedes et al., 2017; Cilla et al., 2018).

En Argentina a inicios del siglo XIX, las sucesivas inmigraciones europeas trajeron consigo material de *A. mellifera* y nuevas técnicas de manejo, otorgando así un nuevo impulso a la actividad (Real Ortellado, 2004; Estrada, 2014). Estos hechos hicieron que, ya en ese entonces, se hablara de la "gran apicultura argentina" (Lechman de Enzenofer, 2003). Actualmente la actividad local ha consolidado al país como el tercer productor mundial de miel y el segundo exportador (García et al., 2018), como consecuencia de aciertos en la cadena apícola, en materia de conocimiento técnico y de vanguardia (Cordero, 2013).

El sector nacional se caracteriza por ser una actividad de carácter familiar (Bragualt Soto, 2019; Aignasse, 2020) con elevada atomización, es decir, productores de pequeña escala con escasos recursos para la inversión y poder de negociación (Ferrari et al., 2011; Goslino, 2017). La producción de miel es realizada principalmente bajo el método convencional (no orgánico) (Juncal, 2013), alcanzando un rendimiento promedio nacional entre 30-35 kg/colmena/año (Huerta, 2008; Ulmer et al., 2012).

Alrededor del 95 % de lo producido se vuelca a la exportación a granel sin procesos de agregado de valor (Cordero, 2013), y el restante de manera fraccionada (García et al., 2016). Esta última, es común en pequeños productores, que buscan mayor rentabilidad ante los bajos precios ofrecidos por el mercado (Hervias y Mogni, 2013; García et al., 2015). Los principales clientes terminan siendo el mercado local, representado por comercios, familias, vecinos y turistas (Juncal, 2013).

La actividad es desarrollada en carácter complementario de otras principales, para pequeños productores rurales urbanos y/o periurbano del interior del país (Bulaccio Cagnolo y Barreto, 2016). Así, la apicultura representa una opción interesante para elevar el nivel de ingresos (García et al., 2015), mejorar el autoconsumo de las familias y al mismo tiempo favorecer la conservación y recuperación del medio ambiente (Huerta, 2008; Dantas et al., 2017; Contreras-Uc et al., 2018; Álvarez, 2020).

Desde hace unas décadas, a causa del cambio en el uso de la tierra, las áreas tradicionales apícolas (región Pampeana) vienen experimentando el desplazamiento de sus productores hacia áreas no tradicionales como el NOA, NEA y Patagonia (Bedascarrasbure, 2011; García et al., 2016). Es así que, para la provincia de Santiago del Estero, la apicultura resulta una actividad relativamente nueva. Según datos del Registro Nacional de Productores Apícolas (RENAPA) para el año 2020 la provincia contaba oficialmente con 378 apicultores, 715 apiarios y 68.763 colmenas distribuidas en todo el territorio (Ibarra, 2020).

La caracterización de los sistemas apícolas relacionados a aspectos económicos, sociales, manejo, producción y comercialización fue documentada para distintas provincias de Argentina (Murmis y Feldman, 2003; Bragualt Soto, 2010 y 2019; Ulmer et al., 2012; Cozzarin y Díaz, 2016; Vicente, 2018; Marín, 2021). Sin embargo, esta información no se encuentra documentada para Santiago del Estero. Por esto, en el presente trabajo, se propuso identificar las principales características desde el punto de vista estructural, socioeconómico, productivos, de manejo y comercialización de las unidades de producción apícola presentes en el departamento Silípica, Santiago del Estero.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en el departamento Silípica, localizado en la región semiárida mediterránea oeste de la provincia de Santiago del Estero (27° 58' y 28° 20' latitud sur y 64° 05' y 64° 34' de longitud oeste). Su relieve es un paisaje de tránsito entre el piedemonte occidental y la planicie deprimida de inundación estacional (Basualdo, 1981). La vegetación corresponde al Complejo Bosques-Arbustales del Centro de la subregión del Chaco Semiárido (Morello et al., 2012) compuesto por un mosaico de bosques secundarios xéricos alternando con los bosques xéricos de las llanuras aluviales.

Su población presenta el perfil de los sectores populares rurales caracterizada por la pobreza estructural y la precariedad laboral (Ledesma et al., 2011). La estructura productiva agrícola y pecuaria refleja un contexto económico de pequeña y precaria producción, con una importante migración estacional de los hogares y en algunos casos el único ingreso para que éstos puedan reproducirse (Alberti y Martínez, 2011). Desde el punto de vista de uso de la tierra, el departamento presenta áreas bajo riego donde destaca la agricultura, mientras en secano predomina la ganadería y explotación forestal.

En el presente estudio se trabajó entrevistando a apicultores, siguiendo lineamientos de la SOLAE, que establece el consentimiento libre previo oral e informado (SOLAE, 2016). Se realizaron 17

entrevistas en 15 localidades, que corresponden a 40 apiarios (10 en zona de riego y 40 en zona de secano). Se indagaron aspectos sociodemográficos como los principales rasgos del manejo, producción y comercialización del apiario.

La información fue registrada y procesada en una base de datos creada en una hoja de cálculo del programa Excel. Para caracterizar a los apicultores se realizó una estratificación de éstos teniendo en cuenta los criterios propuestos por Sáez et al. (2017) y el Centro Regional de Estudios Económicos de Bahía Blanca, Argentina (2003): número de colmenas, homogeneidad dentro del estrato, heterogeneidad entre estratos y relevancia del estrato.

De esta manera se conformaron tres estratos, el "bajo" (EB) hasta 50 colmenas (10 apicultores), el "medio" (EM) entre 51 y 300 colmenas (5 productores) y el "alto" (EA) desde 301 a más colmenas (2 apicultores).

3. RESULTADOS

3.1. *Características sociodemográficas*

Como se observa en la tabla 1, la cantidad de apicultores disminuye a medida que aumenta el nivel del estrato. La edad promedio de todos los productores rondó los 51 años, alcanzando un valor superior en el EA de 58 años. La actividad es desarrollada mayoritariamente por hombres (76%), registrándose una importante participación de mujeres al frente de la actividad (24%) principalmente en el EB. La antigüedad como apicultores fue sensiblemente superior en el EA (36 años).

Con respecto a la escolaridad obligatoria, en líneas generales predomina la primaria en los EB y EM, mientras que el secundario lo es en el EA. La formación técnica se incrementó con el estrato siendo mayor en el EA.

La incorporación a la actividad fue principalmente a través de grupos o cooperativas promovidas desde el estado, excepto en el EA, donde los motivos indicados fueron interés personal o "actividad familiar". Actualmente, ningún grupo o cooperativa apícola persiste, debido a: falta de trabajo en grupo, bajo precio del mercado y falta de acompañamiento del estado.

Los apicultores de Silípica perciben ingresos por desarrollarse como empleados públicos, productores agropecuarios, jubilados, artesanos o albañiles, siendo en este marco la apicultura una actividad complementaria.

Tabla 1. Características sociodemográficas de apicultores del departamento Silípica según la escala de producción (EB≤ 50 colmenas; 50 < EM ≤ 300; EA > 300 colmenas).

	EB	EM	EA	Promedio
Edad promedio (años)	48	45	58	51
Hombres (%)	70	80	100	76
Mujeres (%)	30	20	0	24
Escolaridad nivel primario (%)	70	60	0	65
Escolaridad nivel secundario (%)	30	40	100	35
Formación técnica (%)	70	80	100	76
Antigüedad en la actividad (años)	9,8	18,2	36	15,4
Formaron parte de grupo (%)	100	60	0	70
Apicultura act. complementaria (%)	100	100	100	100

3.2. *Apiarios, insumos y mano de obra*

La cantidad de apiarios/productor, colmenas/productor y colmenas/apiarios aumenta con los estratos (Tabla 2). En todos los casos los apiarios se encontraban instalados en sitios fijos, ubicados mayormente en tierras propias o prestadas (sin retribución alguna).

La principal mano de obra de la actividad es aportada por el apicultor, salvo en el EA donde existe el acompañamiento de un socio, el cual pertenece al grupo familiar. En ocasiones de mayor demanda de trabajo, se requiere mano de obra adicional, la que puede ser: de otros familiares, "por ayuda" o "colaboración" de otros apicultores (la cual es retribuida posteriormente) o, rentada (eventual o permanente). Esta última solo se registra en el EA.

Tabla 2. Aspectos generales sobre las unidades de producción, tenencia de tierra y mano de obra de apicultores del departamento Silípica según la escala de producción (EB≤ 50 colmenas; 50 < EM ≤ 300; EA > 300 colmenas).

	EB	EM	EA	Promedio
N° apiario/productor	1,6	2,4	6	2,3
N° colmenas/productor	16,4	85	470	90
N° colmenas/apiario	10,3	34,5	78,3	38,2
Tierra				
Propias (%)	50	16	50	32
Prestadas (%)	40	34	50	47
Alquiladas (%)	0	16	0	5
Fiscales (%)	10	34	0	16
Mano de obra				
Familiar (%)	62	80	50	64
Rentada (%)	0	0	50	9
Ayuda (%)	38	20	0	27

La adquisición de insumos se lleva a cabo en dos locales apícolas y una cooperativa. En esta última los productores pueden realizar intercambios de material por parte de la cosecha. Los principales insumos demandados por los estratos son: azúcar, envases plásticos (1kg, ½ kg y ¼ kg), tambores metálicos (300 kg), acaricidas (ácido oxálico y flumetrina), cera estampada, combustible, material vivo e inerte. La demanda de estos productos varía entre estratos, siendo mayor con los de mayor producción (EA).

3.3. *Producción y comercialización*

La actividad apícola en Silípica se destaca por presentar productores melíferos bajo un sistema convencional. El rendimiento de miel (Kg miel/colmena) y el número de cosechas es mayor en los estratos bajos, pero es el EA el que presenta mayor diversificación de producción (Tabla 3).

Tabla 3. Valores de producción, diversificación y comercialización de los productos de las colmenas de apicultores del departamento Silípica según la escala de producción (EB≤ 50 colmenas; 50 < EM ≤ 300; EA > 300 colmenas).

	EB	EM	EA	Promedio
Kg miel/colmena	20,5	27,1	7,1	18,2
N° cosechas	1,8	2	1,5	1,8
Comercialización miel				
Fraccionada (frasco plástico) (%)	80	50	25	70
Granel (tambor) (%)	20	50	75	30
Diversificación producción				
Polen (%)	0	40	100	23
Núcleos (%)	0	40	100	23
Reinas (%)	0	0	100	12
Cera negra (%)	40	60	100	53
Propóleos (%)	0	0	50	6

La comercialización de la miel varía entre estratos de acuerdo al volumen de producción. Mientras en el EB predomina la venta fraccionada al "menudeo" (frascos plásticos de ¼, ½ y 1 kg), en el EA predomina la venta a granel (tambores de 300 kg).

La cera negra (usada), en todos los estratos, se intercambia en los comercios apícolas por cera estampada (nueva) recibiendo por cada kg de cera negra, 700 gramos de cera virgen. En el mismo sentido, el propóleo también sirve como medio de intercambio de cera virgen.
Por último, el polen (monofloral de quebracho colorado) se comercializa en frascos de 100 gramos, en cambio otros productos como los núcleos y las reinas presentan un alto componente de autoconsumo.

3.4. *Prácticas de manejo y mantenimiento del apiario*

Las principales actividades de manejo y mantenimiento se agrupan entre las efectuadas durante el receso invernal y la temporada apícola (Tabla 4). En el receso destacan: desmalezado de caminos y apiarios; cobertura contra el frío; limpieza, mantenimiento y recambio de material inerte (cuadros y alzas principalmente); control de reserva (de miel o jarabe) y control de plaga. A través del control de reserva, los tres estratos definen la alimentación de las colonias durante el receso empleando jarabe formulado con azúcar y agua en distintas proporciones. La frecuencia de dosificación del jarabe depende de la concentración, cuanto más diluido, entonces más frecuente.
Durante la campaña apícola se efectúan: recolección de cera, recambio de material vivo (reinas y núcleos) y control de plagas e incentivación. Esta última, formulada en distintas proporciones, busca estimular el crecimiento de la colonia en el EB y EM, mientras que en el EA apunta

a obtener núcleos para venta y autoabastecimiento.
Con respecto a las plagas controladas se destacan: sapo, polilla de la cera, araña chata, avispa negra, hormiga, escarabajo y varroa. El control de esta última es señalado como el de mayor dificultad y se efectúa en dos momentos, previo a la primera cosecha (octubre-noviembre) y la última cosecha de miel (marzo-abril). El control se realiza mediante la aplicación de ácido oxálico (4-6 gramos) o flumetrina (2/colmenas) en la cámara de cría.
En todos los casos la actividad apícola en el departamento se lleva a cabo sin una sistematización de la información referida al calendario floral. Sin embargo, esto no implica un desconocimiento de la flora local ni de su importancia, ya que el 100% de los productores indicaron reconocer la flora local y el valor que presenta para la actividad.

Tabla 4. Aspectos generales de las prácticas de manejo y mantenimiento de apicultores del departamento Silípica según la escala de producción (EB≤ 50 colmenas; 50 < EM ≤ 300; EA > 300 colmenas).

	EB	EM	EA
Alimentación	10%	80%	50%
Proporción (azúcar+agua)	1+1	1+1, 2+1	2+1
Incentivación	60%	60	100%
Proporción (azúcar+agua)	1+1, 1+2, 1+4	1+1, 1+2	1+2
Otras actividades			
Desmalezado	si	si	si
Limpieza y mantenimiento material inerte	si	si	si
Control reservas	si	si	si
Recambio material inerte	si	si	si
Cobertura frío	si	no	no
Cambio y recolección de cera	si	si	si
Recambio material vivo (reina/núcleo)	no	si	si

4. DISCUSIONES

La caracterización de las unidades de producción apícola en el departamento Silípica empleando la estratificación de los productores pone en relieve cómo se integra su base productiva. Pone en evidencia aspectos relevantes con respecto a la importancia

de la mano de obra familiar, la dotación de recursos de producción, formación en la actividad e impronta en la forma de producir y comercializar.
Los sistemas apícolas de Silípica presentan una elevada atomización, coincidiendo con lo registrado para nuestro país por Ulmer et al. (2012); Estrada (2014); Vicente (2018); Aignasse (2020) y otros de la región (Dantas et al., 2017; Contreras-Uc et al., 2018; González Troche, 2019). De esta manera, los pequeños productores, debido a su elevado número, cobran gran relevancia para la actividad tal como lo expresan Real Ortellado (2004) y Cordero (2013).
El importante impulso de la actividad dado en el departamento, a través de programas nacionales y provinciales, responden a la estrategia de entenderla como una salida laboral alternativa y complementaria ante situaciones de crisis económica y devaluación de la moneda (Estrada, 2014). Los grupos y cooperativas conformados no prosperaron en el tiempo, debido a la falta de acompañamiento y estímulo para el desarrollo de estrategias asociativas por parte del Estado tal como lo expresado por Estrada, (2014) y Goslino (2017).
Es destacable la participación de las mujeres en el EB y EM al frente del apiario, coincidiendo con lo documentado en otras áreas del país por Real Ortellado (2004) y Estrada (2014). Ellas cumplen un rol determinante para la actividad en el departamento, poniendo en relieve su importante participación en el ámbito rural coincidiendo con Eyssartier et al. (2008) y Ladio (2020).
Con respecto a la producción, se coincide con Ulmer et al. (2012) en que mientras aumenta la cantidad de colmenas y diversificación productiva, mayor es el grado de profesionalización del apicultor, en tanto que los EM y EB presentan una menor estructura productiva que demanda una dedicación de medio tiempo requisito necesario para desarrollar otras actividades económicas, como lo manifiestan Bragulat (2010), Estrada (2014) y Marín (2021). Lo llamativo es que este carácter de actividad complementaria, se conserva aún en la perspectiva de los apicultores del EA.
Las razones por las que la apicultura es una actividad complementaria en Silípica son: razones de orden económico, de dinámica familiar, de orden cultural y valorativo, informalidad laboral y fiscal, escueta capacitación, una inexistente/reducida red de contactos con productores/profesionales del sector e informalidad del mercado, lo que coincide con Murmis y Feldman (2003), Estrada (2014) y García et al. (2018).
Entre las razones que podemos nombrar en Silípica sobre la apicultura como actividad complementaria son: razones de orden económico (Murmis y Feldman; 2003), dinámica familiar y de orden cultural y valorativo, informalidad laboral y fiscal, escueta capacitación, una inexistente/ reducida red de contactos con productores/profesionales del sector (Estrada, 2014) e informalidad del mercado (García et al., 2018).
El importante componente de mano de obra familiar en el departamento muestra estrecha relación con la escala de la explotación coincidiendo con Ulmer et al. (2012) y Bragualt Soto (2019). Es de destacar que, a mayor volumen de producción y en ciertas épocas del año o del ciclo productivo, sea necesaria la ayuda de otros familiares, apicultores y personal contratado, en las tareas a realizar como lo expresa Juncal (2013).
Las estrategias de comercialización de miel, principal

producto de la colmena, responden también a la escala de producción. Es así que la venta fraccionada e informal de miel para la mayoría de los productores del departamento, puede ser resultado de la falta de organización para la venta conjunta y la deficiente trazabilidad según lo que manifiestan Estrada (2014) y Contreras-Uc et at. (2018).
Los insumos demandados en los apiarios de Silípica, están directamente vinculados con las principales prácticas de manejo y comercialización del apiario. Dentro de estos destacaron el azúcar (alimentar e incentivar la colmena), los acaricida (control sanitario) y los envases (comercialización), siendo también los principales insumos demandado en los apiarios del país como lo mencionan Ulmer et al. (2012, Cozzarin y Díaz (2016) y Bragualt Soto (2019). Por otro lado, es destacable como se auto proveen su propio material vivo (núcleos y reinas), como así también intercambian material inerte (cera y propóleo) por otros insumos. Estas prácticas sin dudas disminuyen considerablemente la utilización de insumos externos coincidiendo con Álvarez (2020).
Por último, el reconocimiento de la flora local y el valor que presentan para la actividad en los apiarios del departamento Silípica, habla de un conocimiento técnico de los productores. A pesar de no llevar a cabo la sistematización del calendario floral local, el conocimiento de la secuencia de floraciones les brinda herramientas para la toma de decisiones en el manejo de los apiarios como reportaron Céspedes et al. (2017), Cilla et al. (2018) y Álvarez (2020).

5. CONCLUSIONES

La apicultura en Silípica tiene características distinguibles que permite agruparla en distintos estratos. Los apicultores trabajan poniendo en juego tanto sus recursos productivos como aquellos relacionados a su formación, definiendo así las particularidades alcanzadas a la hora de producir.
Debido a lo observado en la presente contribución la apicultura en Silípica, actividad con importantes potencialidades, presenta significativos desafíos para las instituciones que trabajan con los apicultores sobre todo en aspectos relacionados a la organización y comercialización de la producción. Con lo cual las instituciones públicas locales abocadas a la promoción de la actividad, deberían redoblar sus esfuerzos en trabajar en conjunto con los diferentes estratos.

6. AGRADECIMIENTOS

A las apicultoras y apicultores del departamento Silípica por su generosidad en acceder a formar parte de estudio. A la Facultad de Agronomía y Agroindustrias y a la Secretaría de Ciencia y Técnica de la UNSE por apoyar el desarrollo de trabajo de investigación del cual son resultados los datos acá presentados.

7. REFERENCIAS

Aignasse, A. M. E. Caracterización de los sistemas apícolas del Pilcomayo. En Actas del 2° Congreso Internacional del Gran Chaco Americano 2017. 1a ed. Bellas Alas Editorial. Santiago del Estero. 2020.
Alberti A, y Martínez M. J. El acceso al trabajo migrante en Santiago del Estero y Misiones: una mirada desde la lógica de los actores. Trabajo y Sociedad, 17(15), 343-362. 2011.
Álvarez, C. M. La agroecología y la producción apícola en Santiago del Estero. INTA. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta.pdf. 2020. 20/07/2021.
Basualdo, M. A. Rasgos fundamentales de los departamentos de Santiago del Estero. Tomo I. Ed. Municipalidad de Santiago del Estero, 1981.
Bedascarrasbure, E. Consolidando la apicultura como herramienta de desarrollo. Gestión innovadora: claves del éxito colectivo. Programa Apícola Nacional. Editorial INTA 1ª edición, Buenos Aires, 2011.
Bradbear N. Bees and their role in forest livelihoods: A guide to the services provided by bees and the sustainable harvesting, processing and marketing of their products. FAO Rome, Italy. 2009.
Bragulat Soto, J. T. Caracterización social de las explotaciones apícolas de Maracó (La Pampa, Argentina). Tesis de Maestría en Zootecnia y gestión sostenible. Universidad de Córdoba, España. 2010.
Bragualt Soto, T. Nivel de competitividad y eficiencia de la apicultura en La Pampa (Argentina). Tesis de Doctorado. Universidad de Córdoba. España. 2019.
Bulaccio Cagnolo, N. V. y Barreto. J. A. Sanidad en las colmenas, Nosema, Varroa y Virosis. INTA. http://inta.gob.ar/documentos/sanidad-en-las-colmenas-nosema-varroa-y-virosis. 2016.
Centro Regional de Estudios Económicos de Bahía Blanca (CREEBA). Las empresas apícolas regionales. Indicadores de la actividad económica. Estudios especiales N° 68(1): 6-15. 2003.
Céspedes F. N., Carrizo E. V., Epstein Vittar, M. F. Argañaráz M. B. y Ibarra E. Flora of apicultural interest in the irrigation zone of Silipica department. Biocell 42 (suppl. 1). 2017.
Cilla, G., Guzmán, A., Marozzi, P., Gallardo, J., Morend., S., Grimaldi, P. A. Abordaje participativo para el estudio de la flora apícola: importancia de la vegetación herbáceas como base forrajera para las colonias de Apis mellifera L. En: Cañadas M (Comp.) IV Congreso del Foro de Universidades Nacionales para la Agricultura Familiar. 1ed. Ediciones INTA. CABA, 2018.
Contreras-Uc, L. C., Magaña-Magaña, M. A., y Sanguinés-Garcia, J. R. Características técnicas y socioeconómicas de la apicultura en comunidades mayas del Litoral Centro de Yucatán. Acta Universitaria, 28 (1): 44-61. 2018.
Cordero, L. Crisis y futuro. La apicultura en el proceso de tecnificación del agro: Una actividad que se complejiza. Tesis de Grado. Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina. 2013.
Cozzarin, I. G., y Díaz, J. R. Evolución socio económica de la producción de miel en San Luis en el periodo 2011 a 2015. Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Agraria, Mar del Plata. 2016.
Dantas, M. M., Barbosa, L. S; Ferreira, T. N., Bezerra, A. C., Almeida, B. G., Dantas, M. M. Apicultura na agricultura familiar no brejo Paraibano. Anais do VI CLAA, X CBA e V SEMDF, 13(1): 2018.
Del Vitto, L. A., y Petenatti, E. M. Asteráceas de

importancia económica y ambiental Segunda parte: Otras plantas útiles y nocivas. Multequina, 24 (1): 47-74. 2015.
Estrada, M. E. Rasgos de la territorialización en complejos productivos no tradicionales basados en recursos naturales: la apicultura en el sudoeste bonaerense. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina. 2014.
Eyssartier, C., Ladio, A. H., Lozada, M. Cultural transmission of traditional knowledge in two populations of North-Western Patagonia. Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine, 4(25): 1-8. 2008.
Ferrari, C., Currao, H., y Bessone, J. F. La Apicultura Argentina y sus regiones. Una visión panorámica. Otero, R. y Collia, J. (Coord.). 1ed. CFI, Buenos Aires, 2011.
García, N., Malcotti, V., y Ugalde, D. Apicultura: documento sectorial integral. Gobierno de la provincia de Neuquén. http://www2.neuquen.gov.ar/territorial/archivos/DSI%20Ap%C3%ADcola.pdf. 2015. 22/07/2021.
García, A., Bragulat, T., Angón, E., Lara, L., y Perea, J. Relaciones técnico–económicas de la apicultura pampeana a través de correlaciones canónicas. Ciencia Veterinaria, 20 (2): 99-108. 2018.
González Troche, J. E. Innovación y apicultura: el caso del Grupo Apícola San José. Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Sociales. Universidad de la República. 2019.
Goslino, M. P. Apicultura en el sudoeste bonaerense: una propuesta de eficiencia y sustentabilidad en esquemas de comercialización conjunta. Tesis Maestría, Universidad Nacional del Sur. 2017.
Hervias, D, y Mogni, F. El auge de la apicultura en la Argentina: Breve introducción al tema. Apuntes agroeconómicos, Facultad de Agronomía-UBA, Año 2, N° 3, Buenos Aires. 2013.
Huerta, A. La apicultura en el Desarrollo. Revista Apicultura y Economía, 52(1): 25-27. 2008.
Ibarra, A. Encuentro virtual apícola. Semana de la miel 2020. FAyA-UNSE https://www.youtube.com/watch?v=TCgzBuI8GgM. 2020. 22/07/2021.
Juncal, S. Análisis de diagnóstico tecnológico sectorial Apícola. Argentina Unida. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/analisis-de-diagnostico-tecnologico-sectorial_0.pdf. 2013. 10/04/2021.
Ladio, A. H. La etnobiología en áreas rurales y su aporte a la lucha para desentrañar sesgos patriarcales. Ethnoscientia 5(1): 1-13. 2020.
Lechman de Enzenofer, L. Herramientas de trabajo para la apicultura moderna. Ediciones Graciela González, Buenos Aires, 2003.
Ledesma R., Paz J., y Tasso, A. Trabajo rural estacional en Santiago del Estero. 1 ed. Organización Internacional del Trabajo, Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social, Buenos Aires, 2011.
Marín, E. M. Caracterización de la actividad apícola del oeste de Formosa. INTA. http://hdl.handle.net/20.500.12123/9029. 2021. 2/07/2021.
Messina, N., Roman, L. y Trupiano, S. Caracterización de productores apícolas beneficiados por el programa microbanco de CAFESG en los departamentos del noreste Entrerriano en el periodo 2009-2010. Asociación Argentina de Extensión Rural. http://www.aader.org.ar/.pdf. 2014. 25/07/2021.
Morello, J., Matteucci, S. D., Rodríguez, A. F. y Silva, M E. Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos. 1 ed. Orientación gráfica editorial, Buenos Aires, 2012.
Murmis M., y Feldman S. Persistencia de la pequeña producción mercantil en un pueblo rural: factores favorables y factores limitantes; ¿situación excepcional o situación generalizable? Revista Interdisciplinaria de Estudios Agrarios, 19 (2): 73-94. 2003.
Real Ortellado, M. La apicultura en La Pampa, una contribución al conocimiento de la actividad apícola en La Pampa hasta el año 2001. Divulgación técnica N° 85. 2004.
Sáez, R., Rusas, V., Vagabculov, J. y Codutti D. Análisis financiero apícola: campañas de los años 2013 al 2016. 1a Ed. Ediciones INTA. Colonia Benítez, Chaco. 2017.
SOLAE. Código de ética para la investigación, la investigación-acción y la colaboración etnocientífica en América Latina. Etnobiología, 14(1). 2016.
Ulmer, J., Travadelo, M., Caporgno, J., y Castignani, H. Identificación y caracterización de los modelos de producción apícola representativos de la Zona Ctral de la provincia de Sta Fe. Rev de Investigaciones de la FCA-UNR, (18): 043-049. 2012.
Vicente, J. N. Análisis y caracterización del potencial productivo apícola en ecosistemas alternativos del Valle De Uco. Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, Luján de Cuyo, Argentina. 2018.
Zamudio, F. Conocimientos locales y manejo de las abejas sin aguijón (Apidae: Meliponini) entre pobladores rurales del norte de la provincia de Misiones. Córdoba. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina. 2012.

Caracterización de un sistema productivo MBGI con enfoque de sistemas e indicadores sustentabilidad.

Blas, Andrés[1]; Laitán, Guadalupe[1]; Aguirre, Micaela[1]; Rueda, Marta[1]; Rueda, Carla[1]; Iturre, Marta[1]; Araujo, Publio[1†]

(1) Instituto de Silvicultura y Manejo de Bosques, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero.

andresblas99@gmail.com;guadalupe.laitan@gmail.com;mica.aguirre.18@gmail.com; patomrueda@gmail.com; carlavrueda@gmail.com; miturre@unse.edu.ar.

RESUMEN. El objetivo de este estudio fue aplicar el enfoque de sistemas a un sistema productivo MBGI, departamento Moreno, Santiago del Estero. Como resultado se obtuvo un modelo de sistema detallado e indicadores identificados para evaluar la sustentabilidad. Con siete subsistemas, treinta y cuatro componentes y nueve flujos (externos e internos) modelaron el predio. Se asoció trece indicadores de evaluación de la sostenibilidad con los siete subsistemas. Para las tres dimensiones se agruparon trece indicadores sugeridos según resultado de la revisión bibliográfica. En estos resultados preliminares se muestra la potencialidad de las herramientas de análisis para evaluar la sustentabilidad en predios con estrategias de manejo innovadoras.

Palabras clave: bosque. Ganadería, manejo, sustentabilidad, indicadores, enfoque de sistema.

ABSTRACT. The objective of this study was to apply the systems approach to a MBGI production system, Moreno department, Santiago del Estero. As a result, a detailed system model and identified indicators were obtained to evaluate sustainability. With seven subsystems, thirty-four components and nine flows (external and internal) the property was modeled. Thirteen sustainability assessment indicators were associated with the seven subsystems. For the three dimensions, thirteen suggested indicators were grouped according to the results of the bibliographic review. These preliminary results show the potential of the analysis tools to evaluate the sustainability of farms with innovative management strategies.

Keywords: Forest, Livestock, management, sustainability, indicators, system approach.

INTRODUCCIÓN

Entre las políticas forestales que Argentina lleva adelante para conservar los bosques su biodiversidad, se encuentra el acuerdo Manejo de Bosques con Ganadería Integrada (MBGI) (Navall et al., 2018). Este permite establecer acuerdos intersectoriales con la finalidad de optimizar los recursos del estado y la aplicación de los lineamientos por parte de las provincias y los productores (Peri et al., 2018). A través de un enfoque de conservación de bosques, propone el manejo integral del ecosistema como una herramienta de desarrollo que incluye al bosque nativo en la matriz productiva como un agente proveedor de servicios ecosistémicos, especialmente en lo que respecta a la producción ganadera y forestal (Peri et al., 2018). De acuerdo a los Ordenamientos Territoriales de Bosques Nativos de la Argentina, alrededor del 60% de los bosques se encuentran en Categoría II (mediano valor de conservación) (MAyDS, 2020), la cual permite realizar planes de manejo sostenible, incluyendo la implementación de sistemas silvopastoriles (Ley de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de Los Bosques Nativos, 2009). Sin embargo, la implementación de los sistemas silvopastoriles ha generado cambios en la estructura forestal tan intensos y permanentes que constituyen un cambio del uso del suelo (Navall et al., 2018). En ese contexto, en el año 2015 se firma el Convenio de Articulación Institucional N°32/2015 entre el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGyP) y la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SAyDS) de la Nación, estableciéndose los Principios y Lineamientos Nacionales para el MBGI (MAGyP, 2015).

Los planes MBGI prevén intervenciones de bajo impacto en superficies grandes del predio (Carranza et al., 2018). Regulando intensidad, extensión y periodicidad de las intervenciones (Carranza et al., 2018). En sectores de menor superficie y ubicación estratégica, propone el manejo de núcleos de conservación/corredores y áreas de intervenciones de mayor impacto, para producción intensiva de forrajeras (Carranza et al., 2018). Sin embargo, es necesario realizar un seguimiento del impacto de la aplicación de los planes MBGI con el fin de detectar posibles desvíos en el cumplimiento de los mismos y realizar reformulaciones para corregir las decisiones tomadas (Alaggia et al., 2019). El plan de monitoreo propuesto para MBGI se basa en un sistema de principios, criterios e indicadores jerárquicos que permiten abordar la complejidad del concepto de sustentabilidad en forma lógica, objetiva y anidada, en relación a las escalas espaciales y temporales (Rusch & Sarasola, 1999).

Un indicador es un instrumento de medición cuantitativa de un fenómeno que se desea conocer, monitorear y analizar, y el cual posee características especiales a considerar y es construido tras un proceso delimitado (Rusch & Fracassi, 2021; Sarandón & Flores, 2014). Muchos de los sistemas de indicadores, carecen de estos marcos necesarios para el ajuste del manejo en dirección a la sustentabilidad del sitio y de la región (Rusch & Fracassi, 2021).

El objetivo de este trabajo es aplicar los enfoques de sistema, servicios ecosistémicos e indicadores para describir la sostenibilidad en un predio con Manejo de Bosque con Ganadería Integrada (MBGI).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio es un predio con MBGI (26°55'4.81"S 62°53'5.68"O) localizada al Oeste de la ciudad Tintina, departamento Moreno provincia de Santiago del Estero. El predio presenta una superficie de 3000 hectáreas, cubierto por bosques nativos y otras coberturas vegetales dedicadas a la producción de forraje para la ganadería. La zona está clasificada como Categoría II, de Mediano Valor de Conservación (Amarillo) del Ordenamiento Territorial de Bosques Nativos de Santiago del Estero (Ley Provincial N° 6942). De un total de 2.393,80 has, 1.603,80 has (66,9%) se clasifican como bosques de mediano valor de conservación para aprovechamiento sostenible y 790 has (33,1%) corresponden a áreas de no bosque. El predio cuenta con un total de 300 hectáreas destinadas a la siembra de forrajes y algodón. Además, 800 hectáreas se encuentran destinadas a un sistema silvopastoril, donde se realizó un enriquecimiento con itín (*Prosopis kuntzei* Harms).

Características biofísicas del contexto de ubicación del predio

La precipitación media anual es de 750 mm y la temperatura media mensual en enero es 26.9°C (mes más cálido de verano), pudiéndose registrar máximas de hasta 47°C (Boletta et al., 2006). La región está habitada por diferentes especies de fauna silvestre, algunas de ellas endémicas y en peligro de extinción, (Quiroga, 2013). Habitan diferentes especies de mamíferos (Chatellenaz, 2006; Camino et al., 2017), de los cuales se destacan *Puma concolor*, *Panthera onca*, *Parachoerus wagneri*, *Priodontes maximus* y diferentes especies de murciélagos (Sandoval & Barquez, 2013; Quiroga, 2013; Camino, 2015; Quiroga et al., 2017). Además de la presencia de especies de aves de gran importancia ecológica (Capllonch et al., 2015; Coria et al., 2017; Zárate Betzel et al., 2019), anfibios y reptiles como tortugas, lagartos y ofidios de los que se conoce poco (Pérez Iglesias et al., 2017). La cobertura vegetal es un

bosque, xerófilo y semicaducifolio, cuenta con un estrato superior dominado por *Schinopsis lorentzii* Engl., y *Aspidosperma quebracho-blanco* Schltdl., de entre 15 y 25 metros de altura (Brassiolo, 2005; C. Kunst et al., 2006; Oyarzabal et al., 2018). Integran también otros árboles más bajos como *Sarcomphalus mistol* (Griseb.) Hauenschild, *Ceiba chodatii* (Hassl.) Ravenna y una presencia importante de *Prosopis alba* Griseb., *Prosopis nigra* Griseb., *Prosopis ruscifolia* Griseb. y *Prosopis kuntzei* Harms (Oyarzabal et al., 2018). Entre las especies arbustivas, destacan especies del género Celtis, Senegalia, Acacia, Capparis y del estrato arbustivo *Bromelia hieronymi* Mez (Zuloaga et al., 2019; MAyDS, 2020). La estructura forestal además integra la presencia de especies de la familia Cactaceae en diferentes densidades, tales como *Opuntia quimilo* K. Schum., *Cleistocactus baumannii* (Lem.) Lem., y *Stetsonia coryne* (Salm – Dyck) (Zuloaga et al., 2019).

Descripción de variables de análisis

Las variables analizadas en el sistema están definidas por el tipo de uso de la tierra: agrícola, forestal, ganadera, conservación. La variable agrícola se corresponde al sitio donde se incluye el cultivo de algodón y la producción intensiva de pasturas para forraje. La variable forestal se encuentra incluida en los sitios de rolado de baja intensidad y silvopastoril, donde se realiza el aprovechamiento forestal y una posterior primera transformación de la madera, obteniendo principalmente madera estructural, leña y carbón. La variable ganadera incluye la producción de bovinos destinados al mercado de la carne y el mejoramiento genético de individuos. Por último, la variable conservación incluye la reserva forestal estricta, donde no se realiza aprovechamiento forestal o ganadero y tiene el objetivo de conservar la estructura forestal para conservación de la biodiversidad y la generación de servicios ecosistémicos.

Descripción de los procesamientos y análisis

Para la primera etapa de procesamiento se han clasificado las variables de uso aplicando una jerarquización para la construcción de un modelo de sistema. Un sistema es un arreglo de componentes relacionados y dependientes entre sí, de tal manera que actúan como una unidad (Hart, 1985). Los sistemas están constituidos por un límite, subsistemas conformados por componentes (físicos, biológicos o socioeconómicos) y flujos (de materia, energía o información) entrantes y salientes hacia el interior o exterior del sistema (Marta Astier et al., 1999). A través del enfoque de sistemas se logra abstraer la complejidad de los sistemas productivos y los ecosistemas, permitiendo conocer la relación que existe entre los subsistemas, componentes y flujos de materia, energía e información que suceden simultáneamente (Marta Astier et al., 2008).

El Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS) es una herramienta metodológica que ayuda a evaluar la sustentabilidad de los sistemas productivos en términos de su sustentabilidad (Marta Astier et al., 1999). Se basa en 5 premisas: 1) sustentabilidad definida con 5 atributos (M. Astier et al., 2012);, 2) existencia de una escala espacial, temporal y el contexto social y político para el sistema de estudio; 3) participativa e interdisciplinaria; 4) comparativa (comparación longitudinal o transversal); y 5) es cíclica, que tiene como objetivo central el fortalecimiento de los sistemas de estudio (Ortiz Avila et al., 2017).

La descripción, clasificación y asociación de variables e indicadores se apoya en la revisión bibliográfica. El análisis bibliográfico se realizó de forma exclusiva con 31 artículos realizados para la región Chaqueña. Para el armado de la base datos se usaron las palabras claves: "Manejo forestal, sostenibilidad, evaluación de sustentabilidad, indicadores, producción forestal, MBGI, sistemas silvopastoriles" con el motor de búsqueda de Google Académico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presenta en la figura 1 el modelo de sistema del predio con MBGI y la tabla 1 con las descripción de se estructura. Se jerarquizaron siete subsistemas, treinta y cuatro componentes y nueve flujos (externos e internos) modelaron el predio. Se asoció trece indicadores de evaluación (tabla 3) de la sostenibilidad con los siete subsistemas. Para las dimensiones ambientales y productivas (tabla 3) se asociaron trece indicadores sugeridos según resultado de la revisión bibliográfica (tabla 3). En estos resultados preliminares se muestra la potencialidad de las herramientas de análisis de sistema, incorporando la identificación de servicios ecosistémicos para evaluar la sustentabilidad. Para los predios que se encuentran en proceso de implementar estrategias de manejo este análisis serviría para operacionalizar y aproximar de forma cuantitativa la sustentabilidad. Se describe una experiencia de diseño, desarrollo de propuesta de indicadores que posteriormente serán estimados.

Tabla 1. Descripción de los subsistemas, componentes y flujos del modelo de sistema del predio con MBGI. Clasificación de los servicios ecosistémicos según Haines-Young & Potschin, (2012). (Abreviaturas. Ab).

Subsistema	Componente		Ab.	Descripción	Servicios ecosistémicos	Referencias
Gerencia	Personal	Gestión	Pg	Personal encargado de la gestión y toma de decisiones.	Servicio de Soporte. Personal de trabajo	(Murphy & Grosso, 2012) (Quaranta, 2017)
		Técnico	Pt	Personal encargado de indicar y monitorear diversas actividades.		
		Operativo	Po	Personal encargado de diversas actividades operarias.		
	Infraestructura		I	Conjunto de instalaciones necesarias para el desarrollo de las diversas actividades.		
	Maquinaria y herramientas		M	Conjunto de elementos, insumos, herramientas, maquinarias, accesorios y demás necesarios para el desarrollo de las diversas actividades.		
Reserva Forestal (RF)	Estructura Forestal	Árboles	Ar	Estructura conformada por los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo, definido en un porcentaje por Lineamientos Nacionales de MBGI (Lineamiento #2). Definida para conservar cobertura vegetal permanente, hábitat de fauna, biodiversidad, entre otros, y generar diferentes servicios ecosistémicos.	Servicio de Soporte y Regulación	(Baldassini & Paruelo, 2020b) (Aprile et al., 2016) (Alaggia et al., 2019) (García Gómez & Triana Llanos, 2020) (Toledo et al., 2018)
		Arbustos	Arb			
		Herbáceas	He			
	Fauna Silvestre	Abundancia	F	Conjunto de animales vertebrados e invertebrados que habitan de forma permanente, circunstancial o momentánea en el ambiente natural.		
	Calidad del suelo		S	Calidad de textura, estructura, composición biótica que le dan diferentes grados de permeabilidad, aireación, infiltración del agua, etc.		
Rolado de Baja Intensidad (RBI)	Estructura Forestal	Árboles	Ar	Conjunto de individuos arbóreos leñosos (regeneración, individuos jóvenes y adultos).	Servicios de Soporte, Regulación y Provisión Productos forestales madereros Forraje	(Silberman et al., 2015) (C. R. Kunst, Ledesma, et al., 2015) (Navall et al., 2016) (Cotroneo et al., 2016) (Coria et al., 2017) (Cortés, 2019) (Anriquez et al., 2005) (C. R. Kunst et al., 2003) (Rueda et al., 2013)
		Arbustos	Arb	Conjunto de individuos arbustivos leñosos permanentes luego del tratamiento de desarbustado o rolado selectivo de baja intensidad.		
		Pasturas	Ps	Conjunto de pasturas (nativas o exóticas no invasoras) implantadas luego del desarbustado o rolado selectivo de baja intensidad.		
	Fauna Silvestre	Abundancia	F	Conjunto de animales vertebrados e invertebrados que habitan de forma permanente, circunstancial o momentánea en el ambiente natural.	Servicios de soporte y regulación	
	Calidad de suelo		S	Calidad de textura, estructura, composición biótica que le dan diferentes grados de permeabilidad, aireación, infiltración del agua, etc.		
	Aserradero móvil		Am	Infraestructura móvil que realiza una primera transformación de la madera cosechada en el predio.	Servicio de Provisión Productos forestales madereros	
	Hornos de carbón		Hc	Infraestructura conformada por hornos y playas de almacenamiento de madera, leña y carbón.		

Silvopastoril (Sp)	Estructura forestal	Cortinas forestales	Cf	Conjunto de árboles dispuestos en una o más hileras formando una barrera perpendicular a la dirección de los vientos predominantes.	Servicios de Soporte, Regulación y Provisión Productos forestales madereros Forraje	(C. R. Kunst, Navall, et al., 2015) (Cotroneo et al., 2016)
		Árboles	Ar	Conjunto de árboles dispuestos de forma dispersa formando una cobertura discontinua.		
		Pasturas	Ps	Conjunto de pasturas (nativas o exóticas no invasoras) implantadas.		
	Regeneración	Plantines	Pl	Conjunto de individuos arbóreos implantados para asegurar la regeneración arbórea		
	Calidad de suelo		S	Calidad de textura, estructura, composición biótica que le dan diferentes grados de permeabilidad, aireación, infiltración del agua, etc.	Servicios de Soporte y Regulación	(Anriquez et al., 2016)
	Fauna Silvestre	Abundancia	F	Conjunto de animales vertebrados e invertebrados que habitan de forma permanente, circunstancial o momentánea en el ambiente natural.		(Aprile et al., 2016)
Agrícola (Ag)	Producción de forraje		Fo	Superficie definida en un porcentaje por Lineamientos Nacionales de MBGI (Lineamiento #3). Definida para la producción exclusiva e intensiva de forraje para aumentar la oferta forrajera.	Servicio de Provisión Forraje	(Navall et al., 2016) (Tiedemann, 2015) (Luna, 2018) (Rojas et al., 2015) (Canavelli & Zaccagnini, 2007)
	Producción de cultivos		C	Superficie destinada para la producción de diferentes cultivos	Servicio de Provisión Diferentes cultivos	
	Calidad de suelo		S	Calidad de textura, estructura, composición biótica que le dan diferentes grados de permeabilidad, aireación, infiltración del agua, etc.	Servicios de Soporte y Regulación	
	Fauna Silvestre	Abundancia	F	Conjunto de animales vertebrados e invertebrados que habitan de forma permanente, circunstancial o momentánea en el ambiente natural.		
Ganadero (Ga)	Producción de individuos para venta		Gv	Conjuntos de individuos destinados a la venta	Servicio de provisión Ganado para venta	-
	Producción de individuos para mejoramiento genético		Gm	Conjunto de individuos destinados para mejoramiento genético .		
	Infraestructura		I	Conjunto de instalaciones necesarias para el desarrollo de las diversas actividades.		
Agua	Potable		Ap	Diferentes fracciones de agua utilizada en los diferentes subsistemas para las actividades productivas.	Servicio de provisión Agua	-
	Utilizada		Au			
	Aljibes		Aa			
	Represas		Ar			

Tabla 2. Descripción y desarrollo de los flujos presentes en el enfoque de sistema del predio "El Descanso". Clasificación de los servicios ecosistémicos según Haines-Young & Potschin, (2012)

Código de flujo	Nombre del flujo	Subsistema de salida	Subsistema de ingreso	Descripción	Servicios ecosistémico	Bibliografía
F1	Personal de trabajo	Gerencia	RBI Silvopastoril Agrícola Ganadero Agua	Personal de trabajo para la toma de decisiones, definición de tareas, monitoreo y realización de tareas.	Soporte	(Alaggia et al., 2019) (Aprile et al., 2016) (Baldassini & Paruelo, 2020a) (Cotroneo et al., 2016) (C. R. Kunst, Navall, et al., 2015) (Navall et al., 2016) (Silberman et al., 2015) (Tiedemann, 2015) (Luna, 2018)
F2	Intercambio de biomasa y energía	Reserva forestal RBI Silvopastoril	Ganadero Exterior	Provisión de hábitat para fauna silvestre, polinización, provisión de frutos y forraje, condiciones de confort para ganado.	Soporte y Regulación	
F3	Productos forestales madereros	RBI Silvopastoril	RBI Exterior	Suma de árboles cosechados para la producción de rollos, durmientes, postes, varillas, leña, carbón para consumo propio o venta al mercado exterior.	Provisión	
F4	Forraje	RBI Silvopastoril Agrícola	Ganadero	Suma de pasturas nativas, exóticas no invasoras implantadas, hojas, brotes y frutos como alimento para el ganado.	Provisión	
F5	Diferentes cultivos	Agrícola	Exterior	Venta de diferentes cultivos estacionales (algodón)	Provisión	
F6	Ganado para venta	Ganadero	Exterior	Venta de productos ganaderos al mercado exterior.	Provisión	
F7	Mejoramiento	Ganadero	Exterior	Variedad de ganancia genética.	Soporte	
F8	Agua	Agua	Gerencia Ganadero	Suma de fracciones de agua utilizadas para el consumo humano y ganadero.	Provisión	
F9	Personal de trabajo	Exterior	Gerencia	Personal de trabajo para asesoramiento, definición de tareas, monitoreo y realización de tareas.	Soporte	
F10	Herramientas, insumos	Exterior	Gerencia	Conjunto de elementos de trabajo, herramientas e insumos para la realización de tareas.	Soporte	
F11	Servicio de sanidad	Exterior	Ganadero	Servicio veterinario para la sanidad del ganado.	Soporte	
F12	Tecnología	Exterior	Ganadero	Conjunto de conocimientos, tratamientos y elementos de trabajo para el manejo ganadero.	Soporte	
F13	Agua	Exterior	Agua	Agua potable para el consumo humano.	Provisión	

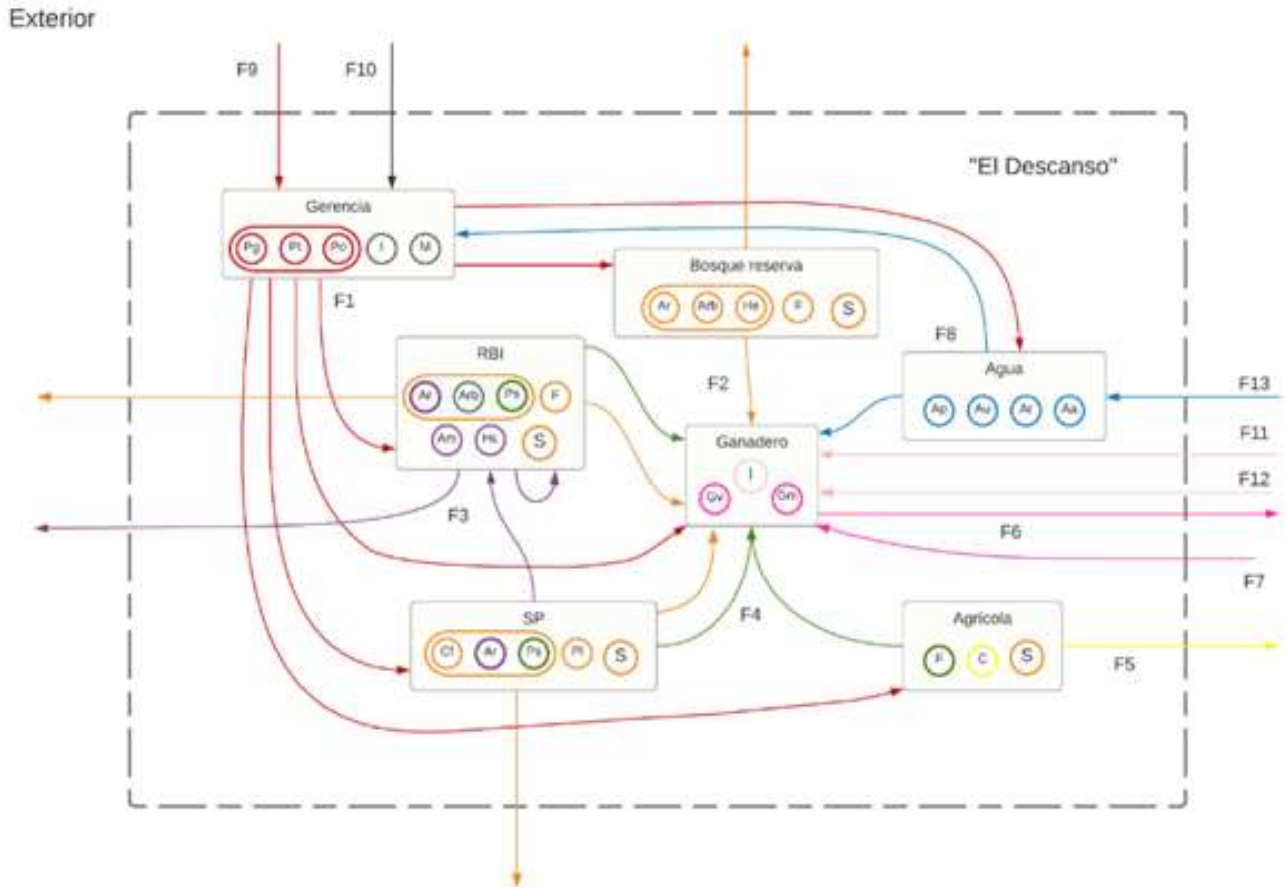


Figura 1. Modelo de sistema "El Descanso", con siete subsistemas, veintisiete componentes y veintiocho flujos internos y externos.

Tabla 3. Indicadores identificados para evaluar la sustentabilidad de las actividades forestales del predio.

Dimensión	Atributo de sustentabilidad (MESMIS)	Indicador (subsistema asociado)	Bibliografía
Ambiental	Estabilidad	Erosión del suelo (Sp, RBI, RF, Ag)	(Alaggia et al., 2019)
		Materia orgánica del suelo (Sp, RBI, RF, Ag)	(Alaggia et al., 2019) (Silberman, 2016) (Naldini, 2016) (A. Quiroga et al., 2017)
		Carbono orgánico del suelo (Sp, RBI, RF, Ag)	(Baldassini & Paruelo, 2020a) (Anriquez et al., 2016)
		Complejidad estructural de la vegetación (Sp, RBI, RF)	(Alaggia et al., 2019) (Araujo et al., 2008) (Trigo et al., 2018)
		Configuración espacial y superficie de bosque a nivel predio (Sp, RBI, RF)	(Alaggia et al., 2019)
		Biodiversidad (Sp, RBI, RF, Ag)	(Alaggia et al., 2019)
		Stock de biomasa (Sp, RBI, RF, Ag)	(Céspedes Flores et al., 2018) (Diaz Zirpolo & Gimenez, 2013)
	Confiabilidad	Regeneración de especies arbóreas focales (Sp, RBI, RF)	(Alaggia et al., 2019) (Tálamo et al., 2013) (Cotroneo, 2018)
	Productividad	Calidad del suelo (Sp, RBI, RF, Ag)	(Romero et al., 2008) (Arzeno et al., 2008) (Rojas et al., 2015)
		Cobertura vegetal (Sp, RBI, RF, Ag)	(Gasparri, 2010) (Britos & Barchuk, 2012)

Productivo	Confiabilidad	Capacidad productiva forestal (Sp, RBI, RF, Ag)	(Alaggia et al., 2019)
	Productividad	Producción forestal (Sp, RBI, RF)	(Alaggia et al., 2019)
		Producción de productos forestales no madereros (Sp, RBI, RF)	(Alaggia et al., 2019) (Ludueña et al., 2015)
		Regeneración (Sp, RBI, RF)	(Alaggia et al., 2019) (Araujo et al., 2008)

REFERENCIAS

Alaggia, F., Cabello, M. J., Carranza, C. A., Cavallero, L., Daniele, G., Erro, M., Ledesma, M., López, D. R., Mussat, E., Navall, M., Peri, P. L., Rusch, V., Sabatini, Á., Saravia, J. J., Uribe Echevarría, J., & Volante, J. (2019). *Manual de Indicadores para Monitoreo de Planes Prediales MBGI Región Parque Chaqueño*.

Anriquez, A. L., Albanesi, A., Kunst, C. R., Ledesma, R., López, C., Rodríguez Torresi, A., & Godoy, J. (2005). Rolado de fachinales y calidad de suelos en el Chaco occidental, Argentina. *Ciencia Del Suelo*, *23*, 145–157.

Anriquez, A. L., Arias, S., Silberman, J. E., Dominguez Nuñez, J. A., Kunst, C. R., & Albanesi de Garay, A. S. (2016). Sistema silvopastoril con diferentes coberturas arbóreas habilitado por rolado de baja intensidad. Impacto de glomalinas y fracciones de carbono del suelo. *Ciencia Del Suelo*, *34*, 33–41.

Aprile, G., Periago, M. E., & Miñaro, F. O. (2016). *La fauna y los silvopastoriles del Chaco*. Boletín técnico de la Fundación Vida Silvestre Argentina.

Araujo, P. A., Iturre, M. C., Acosta, V. H., & Renolfi, R. F. (2008). Estructura del bosque de La María EEA INTA Santiago del Estero. *Revista Quebracho*, *16*, 5–19.

Arzeno, J. L., Aciar, L. M., Corvalán, E., Huidobro, J., & Rodríguez, T. (2008). Uso de indicadores de calidad de suelo sobre parcelas de largo plazo en Salta. *Actas XXI Congreso Argentino de La Ciencia Del Suelo*.

Astier, M., García-Barrios, L., Galván-Miyoshi, Y., González-Esquivel, C. E., & Masera, O. (2012). Assessing the sustainability of small farmer natural resource management systems. A critical analysis of the MESMIS program (1995-2010). *Ecology and Society*. https://doi.org/10.5751/ES-04910-170325

Astier, Marta, Masera, O., & Galván Miyoshi, Y. (2008). *Evaluación de sustentabilidad: un enfoque dinámico y multidimensional*.

Astier, Marta, Masera, O., & Lopez-Ridaura, S. (1999). *Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: el marco de evaluación MESMIS*.

Baldassini, J., & Paruelo, J. M. (2020a). Deforestation and current management practices reduce soil organic carbon in the semi-arid Chaco, Argentina. *Agricultural Systems*, *178*.

Baldassini, J., & Paruelo, J. M. (2020b). Sistemas agrícolas y silvopastoriles en el Chaco Semiárido. Impactos sobre la productividad primaria. *Ecología Austral*, *30*, 45–62.

Boletta, P. E., Ravelo, A. C., Planchuelo, A. M., & Grilli, M. (2006). Assessing deforestation in the Argentine Chaco. *Forest Ecology and Management*, *228*, 108–114.

Brassiolo, M. (2005). Los bosques del Chaco semiárido. Propuestas para la conversión de bosques degradados. *Idia XXI Revista de Información Sobre Investigación y Desarrollo Agropecuario*, *5*, 23–28.

Britos, A. H., & Barchuk, A. H. (2012). Dinámica de la cobertura vegetal y los usos de la tierra a través de modelos de no-equilibrio. *Revista de Teledetección*, *40*.

Camino, M. (2016). *Ocupación y selección de hábitat de tres especies de pecaríes en el Chaco Semiárido Argentino*. Tesis doctoral, Universidad Nacional de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina, 265 pp.

Camino, M., Cortez, S., Matteucci, S. D., & Altrichter, M. (2017). Experiencia de monitoreo participativo de fauna en el Chaco Seco argentino. *Mastozoología Neotropical*, *24*, 31–46.

Canavelli, S. B., & Zaccagnini, M. E. (2007). Nuevos enfoques en el manejo de conflictos con fauna silvestre para una agricultura sustentable. *Agricultura Sustentable*.

Capllonch, P., Alderete, C. A., Aráoz, R., Barboza, E., Mamani, J., Ortiz, D., Perez Bogado, W. E., De Jesus Quiroga, O. B., & Soria, K. (2015). Observaciones y capturas de aves poco conocidas en el norte de Argentina. *Nuestras Aves*, *60*, 76–82.

Carranza, C. A., López, D. R., Cavallero, L., Peri, P. L., Daniele, G., Cabello, M. J., Mussat, E., Manzur, A., & Ledesma, M. (2018). Sistema de monitoreo a escala predial para Manejo de Bosque con Ganadería Integrada (MBGI) en la Región Chaqueña. *IV Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles*, 17.

Céspedes Flores, F. E., Fernandez, J. A., Gimenez, L., Leonhardt, E. A., & Bernardis, A. C.

(2018). Carbono retenido por la hojarasca y raíces en diferentes usos del suelo en la Región del Chaco semiárido. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, *34*, 165–172.

Chatellenaz, C. A. (2006). *Diversidad de mamíferos en el Distrito Oriental Chaqueño*.

Ley de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos, Pub. L. No. 26331, Ministerio de Agroindustria 6 (2009).

Coria, R. D., Kunst, C. R., & Navarrete, V. del C. (2017). Rolado selectivo de baja intensidad (RBI) sobre bosque nativo en el Chaco Semiárido: influencia sobre la diversidad y la composición de un ensamble de reptiles. *Ecología Austral*, *27*, 1–9.

Cortés, J. I. (2019). *Evaluación del efecto del manejo forestal con Rolado en el Bosque Chaqueño Semiárido de Santiago del Estero sobre la Tortuga terrestre (Chelonoidis Chilensis).* Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Cotroneo, M. S. (2018). *La clausura como estrategia de restauración en bosques heterogéneos comunales del Chaco semiárido. Un enfoque socio-ecológico*. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

Cotroneo, M. S., Jacobo, E. J., Bosio, E. A., Karlin, U. O., Brassiolo, M., & Golluscio, R. A. (2016). *Bases e interrogantes para el manejo sostenible de los recursos forrajeros del bosque nativo en el Chaco semiárido santiagueño*.

Diaz Zirpolo, J. A., & Gimenez, A. M. I. (2013). Cuantificación y calificación de madera muerta en un bosque del Chaco Semiárido. *Revista Quebracho*, *21*, 103–114.

García Gómez, L. A., & Triana Llanos, G. A. (2020). Conocimiento sobre la biodiversidad de fauna presente en la Zona de Reserva Forestal Yerbabuena - Chía, Cundinamarca por medio del método del fototrampeo. *Human Relations*, *3*, 1–8.

Gasparri, N. I. (2010). *Efecto del cambio de uso de la tierra sobre la cobertura vegetal y dinámica de biomasa del Chaco semiárido argentino*. Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.

Haines-Young, R., & Potschin, M. (2012). Common International classification of ecosystem services. *Nottingham: Centre for Environmental Management, University of Nottingham*.

Hart, R. D. (1985). *Conceptos básicos sobre agroecosistemas*.

Kunst, C., Monti, E., Pérez, H., & Godoy, J. (2006). Assessment of the rangelands of southwestern Santiago del Estero, Argentina, for grazing management and research. *Journal of Environmental Management*, *80*(3), 248–265. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.10.001

Kunst, C. R., Ledesma, R., Navall, M., Gómez , A., Coria, R. D., Arroquy, J., Ávila, M., Tomsic, P., González, A., Albanesi, A., Silberman, J. E., Anriquez, A. L., & Bravo, S. (2015). *Rolado Selectivo de Baja Intensidad*.

Kunst, C. R., Ledesma, R., Nickish, M. B., Angella, G., Prieto, D., & Godoy, J. (2003). Rolado de "fachinales" e infiltración de agua en suelo en El Chaco Occidental (Argentina). *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, *32*, 105–126.

Kunst, C. R., Navall, M., Coria, R. D., Ledesma, R., Tomsic, P., González, A., Gómez, A., & Feuillade, D. (2015). *Guía de Prácticas Recomendables para Sistemas Silvopastoriles en Santiago del Estero*.

Ludueña, M., Zurita Bianchini, C. A., & Medina, J. C. (2015). *Caracterización de actividades vinculadas a productos forestales no madereros en el Parque Chaqueño Semiárido*. *23*, 54–61.

Luna, I. M. (2018). *Caracterización de la dinámica de emergencia de cuatro especies poáceas en el departamento Moreno (Santiago del Estero)*. Universidad Católica de Córdoba, Argentina.

Bases y lineamientos nacionales para el manejo de bosques con ganadería integrada en concordancia con la Ley N° 26.331, (2015).

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (2020). *Segundo Inventario Nacional de Bosques Nativos: informe Parque Chaqueño: primera revisión.*

Murphy, A. B., & Grosso, S. (2012). Impactos socio-territoriales del avance de un frente agropecuario: Estudio realizado en el Este de la provincia de Santiago del Estero. *VII Jornadas de Sociología de La UNLP*.

Naldini, M. B. (2016). *Efecto del cambio en el uso de la tierra sobre la dinámica de la materia orgánica del suelo en el Chaco Seco, Argentina.* Universidad Nacional de Córdoba.

Navall, M., Peri, P. L., Merletti, G., Monaco, M., Carranza, C. A., Medina, A., Borrás, M., Manghi, E., Miñarro, F., Periago, M. E., & Preliasco, P. (2018). Manejo de Bosques con Ganadería Integrada (MBGI). Bases conceptuales y avances en su aplicación. *IV Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles*, 9.

Navall, M., Peri, P. L., Merletti, G., Mónaco, M., Carranza, C., & Medina, A. (2016). *Acuerdo MBGI: Una iniciativa para devolver el significado a los Sistemas Silvopastoriles sobre bosques nativos*.

Ortiz Avila, T., Quiroz Ramírez, A., & Migoya Bulnes, C. (2017). *Evaluación*

de sustentabilidad para el manejo de sistemas naturales. Manual para el técnico comunitario.

Oyarzabal, M., Clavijo, J. R., Oakley, L. J., Biganzoli, F., & Tognetti, P. M. (2018). Unidades de vegetación de la Argentina. *Ecología Austral*, *20*, 40–63.

Pérez Iglesias, J. M., Jofré, L. E., & Rueda, M. P. (2017). Primeros registros de la herpetofauna en dos áreas naturales protegidas de la provincia de Santiago del Estero (Argentina). *Cuadernos de Herpetología*, *31*, 49–57.

Peri, P. L., Fermani, S., Mónaco, M., Rosales, V., Díaz, F., Collado, M. L., Torres, S. C., Ceballos, E., Soupet, J., Perdomo, M., Soto Castelló, A., Navall, M., Antequera, S., Tomanek, E., Colomb, H., & Borrás, M. (2018). *Manejo de Bosques con Ganaderia Integrada (MBGI) en Argentina* (pp. 724–742).

Quaranta, G. (2017). Estrategias laborales y patrones migratorios de trabajadores agrícolas de hogares rurales de Santiago del Estero. *Desarrollo Económico*, *57*, 119–146.

Quiroga, A., Galantini, J. A., & Studertt, G. A. (2017). La materia orgánica como indicador de cambios en la calidad de los suelos influenciados por el manejo. In *Manejo y conservación de suelos con especial énfasis en situaciones argentinas* (pp. 139–159). Asociacion Argentina de la Ciencia del Suelo.

Quiroga, V. A. (2013). Ecología y conservación del yaguareté (Panthera onca) y el puma (Puma concolor) en el Chaco semiárido argentino: su relación con la disponibilidad de presas y la presencia humana en la región. *Mastozoología Neotropical*, *20*.

Quiroga, V. A., Di Blanco, Y. E., Noss, A., Paviolo, A. J., & Di Bitetti, M. S. (2017). The giant armadillo (Priodontes maximus) in the Argentine Chaco. *Mastozoología Neotropical*, *24*, 163–175.

Rojas, J. M., Roldan, M. F., & Guevara, G. S. (2015). Influencia de rotaciones en la calidad del suelo en la zona central del Chaco y su relación con la producción de algodón. *Ciencia Del Suelo*, *33*, 239–246.

Romero, V., Arzeno, J. L., Moreno, D., Osinaga, R., Sánchez, C. D., & Franzoni, A. (2008). Uso de los indicadores de calidad de suelo en fincas del umbral al chaco en Salta y Santiago del Estero. *Actas XXI Congreso Argentino de La Ciencia Del Suelo*.

Rueda, C. V., Baldi, G., Verón, S. R., & Jobbagy Gampel, E. G. (2013). Apropiación humana de la producción primaria en el Chaco Seco. *Ecología Austral*, *23*, 44–54.

Rusch, V., & Fracassi, N. (2021). *Indicadores de Biodiversidad : Informe preparado por el proyecto INTA PI 038. Evaluaion, monitoreo y manejo de la biodiversidad en sistemas agropecuarios y forestales*.

Rusch, V., & Sarasola, M. (1999). Empleo de criterios e indicadores en el manejo forestal sustentable. *Actas Segundas Jornadas Iberoamericanas Sobre Diversidad Biológica*, 15–24.

Sandoval, M. L., & Barquez, R. M. (2013). The Chacoan bat fauna identity: Patterns of distributional congruence and conservation implications. *Revista Chilena de Historia Natural*, *86*, 75–94.

Sarandón, S., & Flores, C. (2014). *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de Agroecosistemas sustentables*. EDULP Editorial de la Universidad de La PLata.

Silberman, J. E. (2016). *Diversidad microbiana y materia orgánica del suelo en sistemas silvopastoriles de la Región Chaqueña*. http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/55679

Silberman, J. E., Anriquez, A. L., Dominguez Nuñez, J. A., Kunst, C. R., & Albanesi de Garay, A. S. (2015). La cobertura arbórea en un sistema silvopastoril del Chaco y su contribución diferencial al suelo. *Ciencia Del Suelo*, *33*, 19–29.

Tálamo, A., Lopez de Casanave, J., Núñez Regueiro, M., & Caziani, S. (2013). Regeneración de plantas leñosas en el Chaco semiárido argentino: relación con factores bióticos y abióticos en micrositios creados por el aprovechamiento forestal. *Bosque (Valdivia)*, *34*, 53–62.

Tiedemann, J. L. (2015). Fenología y productividad primaria neta aérea de sistemas pastoriles de Panicum maximun en el dpto. Moreno, Santiago Del Estero, Argentina, derivada del NDVI MODIS. *Ecología Aplicada*, *14*, 27–39.

Toledo, D. M., Arzuaga, S., & Galantini, J. A. (2018). Indicadores e índices biológicos de calidad de suelo en sistemas forestales. *Ciencia Del Suelo*, *36*, 1–12.

Trigo, C. B., Tálamo, A., & Villagra, P. E. (2018). *Efecto de la exclusión de ganado doméstico sobre la estructura y funcionalidad de una comunidad vegetal en el bosque chaqueño semiárido*. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Zárate Betzel, G. I., Weiler Gustafson, A., Núñez Goralewski, K. B., Mattos, A., Amarilla Rodríguez, S. M., & Pech Canchpe, J. M. (2019). Cámara trampa como método de muestreo para aves paraguayas del Chaco seco: una comparación con los métodos auditivos y visuales. *Revista Biología Tropical*,

67, 1089–1102.
Zuloaga, F., Belgrano, M., & Zanotti, C. (2019). Actualización del Catálogo de las Plantas Vasculares del Cono Sur. *Darwiniana*, *7*, 208–278. https://doi.org/https://doi.org/10.14522/darwiniana.2019.72.861

Caracterización sensorial y aceptabilidad de un pan libre de gluten

Lescano, Natalia E.[1]; Costa Macias, Karina E.[1]; Macías, Sara M.[1]; Generoso, Silvina[1] y Villarreal Myriam E.[1]
(1) ICYTA-Facultad de Agronomía y Agroindustrias-Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina.
natylescano@hotmail.com

RESUMEN
La industrialización de harinas libres de gluten(LG) como la de mistol, chañar y habas, contribuiría a diversificar la oferta de alimentos para personas celíacas. Objetivo: caracterizar sensorialmente un pan de molde LG, mediante el análisis descriptivo cuantitativo (QDA) y conocer su aceptabilidad, en relación a las expectativas del consumidor.
Se desarrolló un pan LG(F1) con harinas de arroz, habas, mistol y chañar.
Para la caracterización sensorial, se trabajó con diez jueces. Durante 6 sesiones, se realizó la búsqueda de descriptores, Norma IRAM 20001. La cuantificación de descriptores se realizó en cuatro sesiones para F1 y un pan comercial(C). Se usó una planilla con escala de 10cm. Los datos fueron sometidos a ANOVA de dos factores. Se realizaron ensayos con alumnos de la Universidad Nacional de Santiago del Estero usando escala hedónica de 9 puntos.
La apariencia de corteza y miga resultó similar en ambos panes. El color de miga mostró diferencia. Los descriptores de Textura bucal son: Desmenuzable, Gomosidad, Dureza, Sequedad, y para Sabor: Dulce, Salado, Acido, Amargo, Astringente, Agrio, Picante, Rancio, Levadura, Retrogusto. Para aceptabilidad, el 75% de los consumidores puntuaron F1 con 7-8-9.
Se caracterizó F1 y por su nivel de agrado podría comercializarse como alimento para celiacos.

ABSTRACT

The industrialization of gluten-free (LG) flours such as mistol, chañar would diversify the food offer for people with celiac disease. Objective: to sensorially characterize an LG sliced bread, by means of quantitative descriptive analysis (QDA) and evaluate the level of liking.
We worked on a formulation (F1): a mixture of rice flour, mistol, chañar and beans, adding citric acid and a commercial LG control bread (C). Bread QDA (F1 and C) was performed. Ten trained judges quantified descriptors using a 10cm scale. Three repetitions were carried out. The data were analyzed by ANOVA. Affective tests will be carried out on a pilot scale, with a panel of 30 consumers, using a form for evaluating the degree of satisfaction, with a 9-point hedonic scale.
The crust and crumb appearance attribute was similar to C. The crumb color showed a significant difference attributed to pigments present in flours. Mouth texture: Crumbly, Gummyness, Hardness, Dryness, and for the Flavor attribute: Sweet, Salty, Acid, Bitter, Astringent, Sour, Spicy, Rancid, Yeast, Aftertaste. Acceptability: 75% of consumers scored F1 between 7-9, 62.5% of the responses for scores <5 corresponded to C.
The QDA is a reference for quality and shelf life control. Due to its F1 liking level, it could be marketed as a food for celiacs.

Palabras clave: QDA-mistol-chañar-libre de gluten

Keywords: QDA-mistol-chañar-gluten free

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el único tratamiento disponible para las personas susceptibles a patologías asociadas al gluten es el estricto cumplimiento de una dieta libre de esta proteína (Cappa et al., 2013). En este marco, la industria panadera libre de gluten (LG) busca harinas alternativas y ha formulado y desarrollado una variedad de panes sustitutos a los panes de trigo tradicionales. Las formulaciones generalmente siguen una combinación de harina ricas en almidones, grasas e hidrocoloides, incrementándose en los últimos años el enriquecimiento con proteínas y fibras (Naqash, Gani, Gani & Masoodi, 2017; Turkut *et al*., 2016). Sin embargo, estos panes debido a la ausencia de gluten presentan estructuras de miga y corteza y propiedades organolépticas pobres y son más propensos al envejecimiento (Gallagher, Kunkel, Gourmley & Arent, 2003; Carmela *et al*., 2016; Rocha Parra, Ribotta & Ferrero, 2015; Ribotta & Le Bali, 2007; Sciarini, Ribotta & Leon, 2010; Smith *et al.,* 2010; Naqash *et al*., 2017), por lo que la industria se enfrenta al desafío, en términos de tecnología y nutrición, de atender adecuadamente la creciente demanda de panes LG de alta calidad (Huttner, Dalbello & Arendt, 2009).

La propuesta de formular alimentos con harinas de frutos autóctonos, para diversificar la oferta del mercado, contribuiría a satisfacer las expectativas de consumo de un importante segmento de la población: los celíacos. En el monte nativo de Santiago del Estero-Argentina- se recogen frutos autóctonos (mistol, chañar) que procesados como harinas podrían resultar en una materia prima valiosa para la industrialización de alimentos LG. Asimismo, estas harinas presentan propiedades físicas, funcionales y de "pasting" que contribuirían a mejorar la humedad, viscosidad y textura final de los productos panificados elaborados a partir de ellas.

Los productos horneados elaborados con harina de chañar (Ch), habas (H) y mistol (M) presentan ventajas nutricionales, frente a los homólogos elaborados solo con harina de trigo, ya que contribuyen con componentes bioactivos, además, aportan fibra y minerales, entre ellos hierro y calcio (Lescano, et al 2018, Orrabalis, 2014). Asimismo, las harinas de estos frutos contienen 158, 117 y 112 mg EAG/100g respectivamente de fenoles totales por lo que concederían características funcionales a los alimentos que con ellas se elaboran. (Aguirre, 2008; Generoso *et al.*, 2019). El efecto de la combinación de harinas no tradicionales ricas en fibra, proteínas, minerales y con potencial capacidad prebiótica, que favorezcan la estructura de la miga, el manejo tecnológico de la masa, mejoren la calidad nutritiva y el perfil sensorial de los panes LG depende no sólo de la materia prima utilizada sino de su naturaleza y de la proporción empleada, siendo muy difícil predecir el efecto real en diferentes formulaciones, lo cual justifica profundizar los estudios tendientes a alcanzar las proporciones adecuadas de componentes que permitan obtener productos de calidad que den respuesta al grupo destinatario de consumidores con patologías asociadas al gluten.

El consumo real de un alimento dietético LG (CAA, art.1383 cap. XVII) está influenciado por la calidad sensorial y por esto es conveniente conocer los atributos que el consumidor privilegia al momento de decidir la compra e incorporarlo a su dieta habitual, para formular acorde a estos atributos.

1.1 *Objetivos*

El objetivo de este trabajo fue caracterizar sensorialmente un pan de molde LG, mediante el análisis descriptivo cuantitativo (QDA) y evaluar el nivel de agrado, con el propósito de obtener un perfil de referencia para el control de calidad y conocer su aceptabilidad, en relación a las expectativas.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 *Materiales usados*

Como testigo o control (C) se empleó un pan tipo lactal, adquirido en una panadería de productos LG de la ciudad de Córdoba, Argentina, elaborado con harinas de arroz, mandioca, maíz y mejoradores químicos.

Se diseñó un pan formulado con mezclas de harina de arroz (A), M, Ch y H, adicionado de ácido cítrico para lograr un pan LG, con buena biodisponibilidad mineral y aceptabilidad.

Para ello, a partir del pan comercial control LG se desarrolló F1 reemplazando fécula de maíz, fécula de arroz, harina de mandioca y goma xántica por H; M; Ch y ácido cítrico (como mejorador de biodisponibilidad de minerales) respectivamente, según se detalla en tabla 1.

Tabla 1. Formulación del pan F1 y Control C.

Componente	Formulación F1	Control C
A	20,9	Harina Arroz
H	10,5	Fécula maíz
M	1,1	Fécula de arroz
Ch	12,6	Harina Mandioca
Albumina	4,2	Huevo
Sal	1,1	Sal
Levadura	1,1	Levadura

Margarina	1,1	Margarina
Ac. Cítrico	0,16	Goma Xántica
Agua	47,4	Agua

2.2 *Metodología de elaboración del pan*

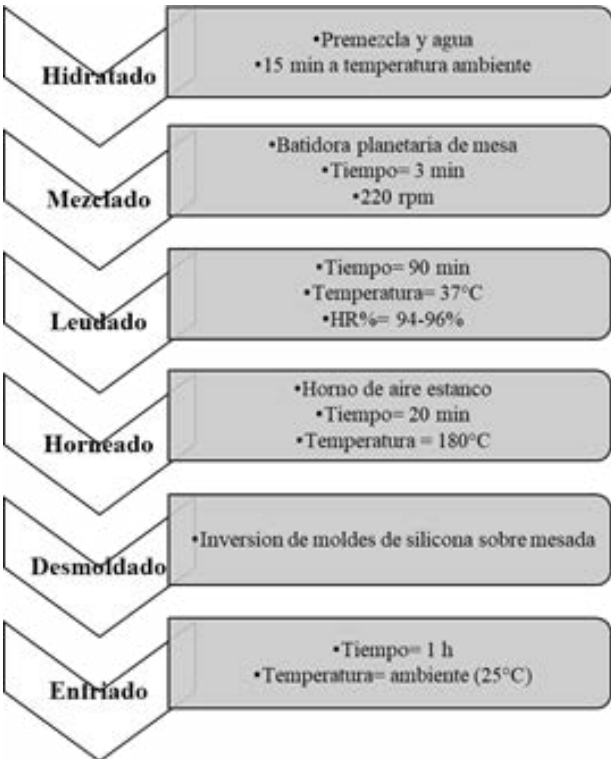


Figura1. Procedimiento de elaboración de pan LG.

2.3 *Análisis sensorial*

El QDA se realizó con el método desarrollado por Stone (1974). Para la búsqueda de descriptores, durante 6 sesiones y con la ayuda del líder de panel y una planilla orientativa, los panelistas entrenados verbalizaron sus impresiones respecto de los panes (F1 y LG comerciales), siguiendo la Norma IRAM 20001.

Se trabajó con diez jueces solventes. Las pruebas definitivas de medición de intensidad de descriptores fueron realizadas en cuatro oportunidades. En cada sesión se presentaron en platos individuales, porciones de 25 g. de los panes F1 y C identificadas con números aleatorios de tres dígitos. Se usó una planilla con todos los descriptores a cuantificar y se solicitó a los jueces que indiquen la intensidad sobre una escala de 10 cm anclada en los extremos.

Los datos fueron sometidos al análisis de varianza de dos factores: muestra y jueces; los resultados del QDA fueron representados en un gráfico radial con la media.

Se realizaron pruebas afectivas a escala piloto, con un panel de 32 alumnos de la carrera de Ingeniería en Alimentos de la Universidad Nacional de Santiago del Estero, considerando que el producto está aún en la fase de prueba (Aenor, 1997).

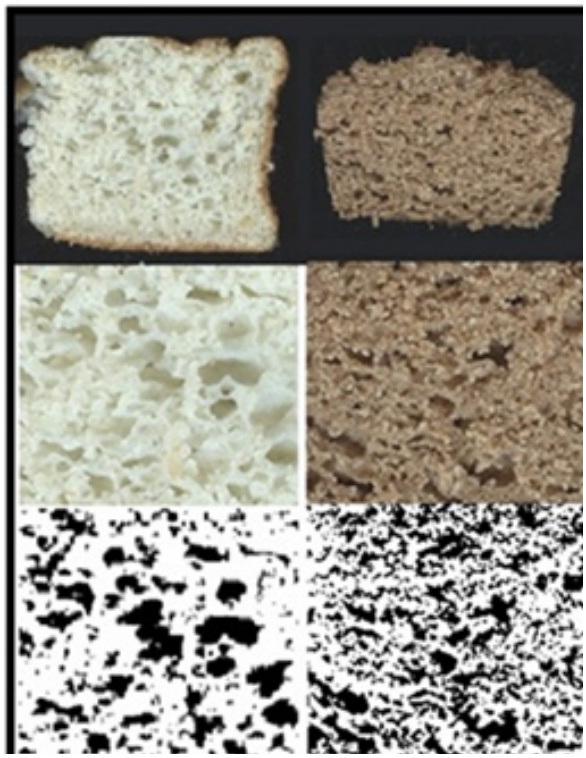
El instrumento utilizado para la recolección de la información fue una planilla para evaluación del grado de satisfacción, con escala hedónica (Peryam & Pilrim, 1957) de 9 puntos. correspondiendo el puntaje de 1 a "me disgusta muchísimo" y 9 a "me gusta muchísimo". Antes de cada evaluación, se explicó cómo completar el formulario correspondiente y se solicitó a los individuos que indicaran, con una cruz en la escala, el grado en que cada pan le agradaba o disgustaba. Las pruebas se realizaron para evaluar F1 y un pan comercial C. La muestra y el C se presentaron para la degustación individual, en orden balanceado, a las 10:00 horas, en recipientes idénticos conteniendo una porción de cada pan.

3 RESULTADOS

3.1 *Caracterización sensorial del pan de molde*

3.1.1 Atributo apariencia

Para el atributo apariencia las evaluaciones mostraron una adecuada proporción entre corteza y miga del pan F1, similar a la encontrada para el C. La estructura de miga del pan F1, rico en fibra y proteínas presentó una distribución de celdas de aire y tamaño promedio de alveolos homogéneo, aunque se obtuvieron panes más compactos en comparación al pan control y de menor volumen específico como se muestra en la Fig.2.



a) C b) F1

Figura 2. Estructuras de migas de pan LG

En cuanto al color de la miga se evidenció diferencia significativa entre F1 y C, atribuida a los pigmentos presentes en las harinas de frutos autóctonos usados para la elaboración del pan F1. Además, la incorporación de M disminuyó la luminosidad del pan en estudio. El oscurecimiento del color de la miga es deseable (datos no mostrados) ya que el pan más oscuro generalmente se asocia con productos a base de granos enteros saludables (Kim, Yookyung & Yokoyama, 2011) mientras que los panes sin gluten generalmente tienden a tener un color más claro que los panes de trigo (Gallagher, Kunkel, Gourmley & Arent, 2003).

El color de la corteza de F1 también mostró mayor intensidad que el C lo que se asocian no solo a la mayor incorporación de harinas de M y Ch sino también al desarrollo de las reacciones del pardeamiento de Maillard durante el proceso de horneado (Hidalgo & Zamora, 2000) favorecidas por el alto contenido de azúcares reductores presentes en estos panes. En base a la correlación de los resultados sensoriales del color, el uso de harinas de M, Ch y H influiría en forma favorable en la formulación de productos LG, en virtud que contribuyen a que los productos se asemejen a panificados, tipo integrales ricos en fibras (Kim *et al.*, 2011). En cuanto a las observaciones vertidas por los jueces, denotaron que percibieron estas características como positivas.

3.1.2 Atributos de degustación

Los resultados obtenidos a partir de la cuantificación de los descriptores consensuados se representan en un gráfico radial Fig.3, para los atributos sabor y textura bucal. Para el atributo textura bucal, los descriptores son: Desmenuzable, Gomoso, Dureza, Sequedad, y para el atributo Sabor: Dulce, Salado, Acido, Amargo, Astringente, Agrio, Picante, Rancio, Levadura, Retrogusto.

Dado que los resultados del total de las observaciones responden a la distribución normal para cada descriptor, los mismos fueron caracterizados con la media muestral.

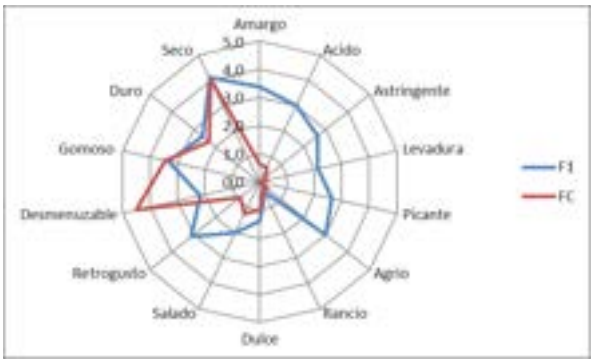


Figura 3. Representación radial de descriptores evaluados con el sentido del gusto.

3.1.2.1 Textura bucal

La dureza definida con el descriptor duro en la Fig. 3, corresponde a la fuerza inicial requerida para quebrar el producto con los dientes incisivos no presentó diferencias significativas entre F1 y C, siendo los valores encontrados, semejantes a los obtenidos por Sabanis (2009) en panes LG adicionados de fibra dietaria.

Los descriptores seco y gomoso están relacionados con la humedad del producto final y con el tiempo de almacenamiento por lo que son útiles para evaluar el estado de conservación del producto en dependencia a las variaciones de humedad. No se observan diferencias significativas en los descriptores seco y gomoso entre F1 y C (Fig. 3) siendo los valores encontrados, semejantes a los obtenidos por Sabanis (2009) en panes LG adicionados de fibra dietaria.

3.1.2.2 Sabor

Los descriptores de sabor presentaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$), a excepción de rancio, con bajas puntuaciones tanto para el C como para F1, lo cual indica un producto neutro, sin notas de gusto y/o sabor destacadas o diferenciales.

El pan F1 fue el que presentó intensidades

significativamente mayores ($p<0,05$) con respecto al C para los sabores evaluados; esto es debido a la influencia que ejercen las harinas en estudio sobre los distintos descriptores de sabor. En cuanto a la nota de sabor ácido percibido en F1 probablemente corresponda al ácido cítrico agregado a la mezcla para mejorar la biodisponibilidad de minerales. El pan F1 fue significativamente más dulce que C, debido a la harina de M y Ch, que contienen alto tenor de glúcidos simples (Becker,1983; Costamagna, et al. 2013; Costamagna *et al.* , 2016; Maestri *et al*., 2001; Cardozo *et al.*, 2011; Nogués *et al.*, 2013).
Según Hernández-Cervantes (2010), al igual que lo afirmado por Prescott (1998) y Asp (1999), los atributos del sentido del gusto tienen una mayor influencia sobre la selección de los alimentos e incluso son más importantes que los atributos evaluados con los otros sentidos. En este estudio los descriptores evaluados en boca son catorce frente al atributo apariencia externa, que fue caracterizado con dos (Color de miga y corteza y proporción de miga y corteza de panes). Este aspecto, revaloriza la importancia de la Evaluación sensorial, ya que no es posible cuantificar estos descriptores con otra metodología.

3.2 *Nivel de agrado*

Los resultados de la aceptabilidad mostraron que el 75% de los consumidores puntuaron a F1 con 7- 8 - 9, mientras que C obtuvo un 37,5% de las respuestas para los puntajes 7 y 8. La Tabla 2 resume las respuestas obtenidas para los panes ensayados, resultando F1 el de mayor aceptación.
El 25% de los jueces puntuó con 2 a F1 y el 12,5 % con 1 al C, lo que estaría en relación con el gusto personal ya que 4 de los jueces son comunes a ambas evaluaciones, por lo que estos bajos puntajes no son atribuibles a características defectuosas.
Es destacable que el doble de jueces puntuó por encima de 6 a F1 respecto de C, lo que indicaría mayor agrado.
Al aplicar la prueba de Student para establecer si son significativas las diferencias entre estos valores de aceptabilidad, se obtuvo diferencias significativas ($p <0,05$).

Tabla 2. Porcentaje de respuestas en la valoración de nivel de agrado de panes F1 y C.

Pan	Nivel de Agrado (%)								
	9	8	7	6	5	4	3	2	1
F1	12,5	37,5	25					25	
C		25	12,5		25	25			12,5

4 CONCLUSIONES

El QDA realizado aporta descriptores específicos para panes elaborados con harinas de frutos autóctonos y representa un patrón de referencia para el control de calidad y evaluación de la vida útil.

En base a los resultados el uso de harinas de M, Ch y H sería una alternativa prometedora para la formulación de productos LG, en virtud que contribuye a que los productos se asemejen a panificados tipo integrales ricos en fibras, bien posicionados en el mercado.

De los resultados de aceptabilidad de los panes en estudio es posible inferir que el pan formulado podría ser incluido en la dieta.

El pan F1 en comparación con los panes comerciales LG presenta ventajas nutricionales y sensoriales, dado que a partir del uso de estas harinas no tradicionales LG se incorporan componentes funcionales como antioxidantes, proteínas, fibra dietaria y minerales y así mismo la respuesta de la evaluación sensorial ha sido prometedora en muchos atributos a la respuesta obtenida para un pan comercial (C). A partir de este estudio, surgen nuevas posibilidades para investigar la aplicación y uso de harinas no tradicionales LG combinadas con aditivos de manera de mejorar las características panaderas.

NOTA: Esta investigación se realizó como parte de la Tesis Doctoral de la Ing. Natalia Lescano, bajo la dirección de la Dra. Myriam Villarreal y en el marco de los proyectos “Desarrollo de procesos y equipos destinados a la producción de alimentos a partir de frutos silvestres del monte semiárido argentino” y “Evaluación sensorial de alimentos nuevos desarrollados con vegetales e ingredientes regionales”, y financiados por CIyT- UNSE.

AGRADECIMIENTO

Las autoras desean agradecer al Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad Nacional de Santiago del Estero y al Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad

Nacional de Córdoba ICyTAC por facilitar el uso de instalaciones.

5 BIBLIOGRAFÍA

AENOR, *Análisis Sensorial. Tomo 1. Alimentación. Recopilación de Normas* UNE. Madrid: AENOR. 1997.

Aguirre J., Actividad biológica y contenido de polifenoles del arrope de chañar (Geoffroea decorticans) *Jornada; XXV Jornadas Científicas, Asociación de Biología de Tucumán*; Tafí del Valle, Tucumán, 2008.

Asp E.H., Factors affecting food decisions made by individual consumers. *Food Policy* 24: 287-294. 1999.

Becker, R., Nutritional Quality Of The Fruit From The Chanar Tree (Geoffroea Decorticans). *Ecology of Food and Nutrition*, *13*(2), 91–97, 1983.

CAA artículo 1383 capítulo XVII - https://www.argentina.gob.ar/anmat/codigoalimentario, 12 de agosto de 2021.

Cappa, C., Lucisano, M., & Mariotti, M., Influence of Psyllium , sugar beet fibre and water on gluten free dough properties and bread quality. *Carbohydrate Polymers*, *98*(2), 1657–1666, 2013.

Cardozo, M.L. ; Ordoñez, R. M.; Alberto, M. R.; Zampini, I. C.; Isla, M. I., Antioxidant and anti-inflammatory activity characterization and genotoxicity evaluation of Ziziphus mistol ripe berries, exotic Argentinean fruit. *Food Research International*, *44*(7), 2063–2071, 2011.

Carmela, M., Fernanda, C., Maria, G., Colangelo, A., Condelli, N., Scarpa, T., Tolve, R., & Favati, F., Evaluation of the oxidative stability of bakery products by OXITEST method and sensory analysis. *European Food Research and Technology*, 2016.

Costamagna, M. S., Ordoñez, R. M., Zampini, I. C., Sayago, J. E., & Isla, M. I., 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, 2013.

Costamagna, M. S., Zampini, I. C., Alberto, M. R., Cuello, S., Torres, S., Pérez, J., Quispe, C., Schmeda-Hirschmann, G., & Isla, M. I., 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, 2016.

Gallagher, E.; Kunkel, A.; Gourmley, T.R; Arent, E. K., The effect of dairy and rice powder addition on loaf and crumb characteristics , and on shelf life (intermediate and long-term) of gluten-free breads stored in a modified atmosphere. *European Food Research and Technology*, 44–48, 2003.

Generoso S, Lescano N., Costa Macias K. & Macias S.M., Leguminous Flour from the Native Argentinian Forest, Their Contribution to Antioxidant Defense. Food Sci Nutr Res.; 2(1): 1-5, 2019.

Hernández-Cervantes M., López-Velázquez J., Gómez-Alvarado T., Santiago-Cabrera R., Ramón-Canul L.G., Delgado-Vidal F. K., Shain-Mercado A. J., Huante-González Y. & Ramírez-Rivera E.J. Comparación de la descripción sensorial del queso fresco "cuajada" mediante el análisis descriptivo cuantitativo y el perfil flash. *Ciencia y Mar*, XIV (42): 3-12, 2010

Huttner EK, Dal Bello F, Arendt E.K., Propiedades reológicas y rendimiento de panificación de cereales de avena integrales comerciales. *Journal Cereal Sci*, 2009.

Hidalgo, B. F. J., & Zamora, R., The role of lipids in nonenzymatic browning. *Grasas y Aceites*, *51*, 35–49, 2000.

Kim, Yookyung; Yokoyama, W., Physical and Sensory Properties of All-Barley and All-Oat Breads with Additional Hydroxypropyl Methylcellulose (HPMC) β -Glucan. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 741–746, 2011.

Lescano N, Costa Macias K., Rosas D., Generoso S., & Macias S.M., Pre-mezclas y panes elaborados con harinas alternativas. Contenido, bioaccesibilidad y aporte potencial de minerales. *VII Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 2018.

Maestri, D. M., Fortunato, R. H., Greppi, J. A., & Lamarque, A. L., Compositional studies of seeds and fruits from two varieties of Geoffroea decorticans. *Journal of Food Composition and Analysis*, *14*(6), 585–590, 2001.

Naqash, F., Gani, A., Gani, A., & Masoodi, F. A., Gluten-free baking : Combating the challenges - A review. *Trends in Food Science & Technology*, *66*, 98–107, 2017.

Nogués, Enrique; Castro, O.; Correa, R.; Puricelli, M.; Gómez Pérez, H.; López, R., Ziziphus mistol griseb. (mistol) su rol en la region, la cultura popular, la alimentacion humana y animal y su uso medicinal en el árido y semiárido del NOA. Informacion General sobre la importancia de este género en distintas regiones del mundo. *Revista de Divulgación Técnica Agrícola y Agroindustrial - Revista N°52- ISSN: 1852-7086*, 1–16, 2013.

Orrabalis, Camilo, Aprovechamiento Integral de los Frutos de Geoffroea decorticans (chañar), de la Región Fitogeográfica de la Provincia de Formosa. *Tesis Doctoral UNC*, 2014.

Peryam & Pilrim, Hedone scale method for measuring food preference. *Food Technology* 11 N° 9. 9-14. 1957.

Prescott J., Comparison of taste perceptions and preferences of Japanese and Australian consumers:

overview and implications for cross-cultural sensory research. *Food Quality and Preference* 9(6): 393-402, 1998.

Ribotta, P. D.; Le Bail, A., Thermo-physical assessment of bread during staling. *LWT - Food Science and Technology*, *40*, 879–884, 2007.

Rocha Parra, F.; Ribotta, P.; Ferrero, C., Panificados libres de gluten enriquecidos con fibra de bagazo de manzana. *La Alimentacion Latinoamericana*, *N° 317*, 60–64, 2015.

Sabanis, D., Lebesi, D., & Tzia, C., Effect of dietary fibre enrichment on selected properties of gluten-free bread. *LWT - Food Science and Technology*, *42*(8), 1380–1389, 2009.

Sciarini, L.; Ribotta, P.; León, A. E., Effect of hydrocolloids on gluten-free batter properties and bread quality. *International Journal of Food Science & Technology*, 2306–2312, 2010.

Smith, J. P., Daifas, D. P., El-khoury, W., Koukoutsis, J., El-khoury, A., Smith, J. P., Daifas, D. P., El-khoury, W., Koukoutsis, J., & El-khoury, A., Shelf Life and Safety Concerns of Bakery Products — A Review Shelf Life and Safety Concerns of Bakery Products — A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *8398*, 1–38, 2010.

Stone H , Shirley Oliver J. & Singleton R., Sensory evaluation by cuantitative descriptive analysis. *Food Technology* 28 N° 11. 24-32, 1974.

Turkut, G. M., Cakmak, H., Kumcuoglu, S., & Tavman, S., Effect of quinoa fl our on gluten-free bread batter rheology and bread quality. *Journal of Cereal Science*, *69*, 174–181, 2016.

Caracterización tecno-funcional de harinas integrales extruidas de maíz culli y quínoa

Miranda, Rita[1]; Ríos, Francisco[1]; Amaya, Argentina[1]; Lobo, Manuel[1] y Sammán, Norma.[1]

(1) Facultad de Ingeniera, Universidad Nacional de Jujuy.
ritamarisolmiranda@yahoo.com.ar

RESUMEN

Los granos andinos se utilizan ampliamente para la elaboración de alimentos sin gluten. Sin embargo, la calidad tecnológica de sus harinas debe modificarse para aplicaciones panaderas. El objetivo fue evaluar el efecto de distintas condiciones de extrusión sobre propiedades tecno-funcionales de harinas integrales de maíz andino (Zea mays) y quínoa (Chenopodium quinoa), y la expansión de sus masas. Se determinó la composición proximal y amilosa aparente de harinas integrales nativas. Éstas se extrudieron en un extrusor monotornillo con relación de compresión 3:1, a temperaturas de 100, 120 y 140°C y humedades de 20, 25 y 30%, con velocidad de tornillo de 100 rpm. La composición química de las harinas nativas presentó diferencias significativas. Las propiedades tecno-funcionales de las harinas fueron modificadas por la extrusión. El grado de expansión y el índice de absorción de agua tendieron a aumentar con la disminución de la humedad de extrusión. La luminosidad de todas las harinas extrudidas fue menor que la de sus homólogas nativas. El volumen de expansión de masas tuvo una alta correlación con el porcentaje de lípidos libres de las harinas extrudidas de quínoa. La extrusión de las harinas mejoró la expansión de masas sin gluten.

ABSTRACT

Andean grains are widely used to make gluten-free foods. However, the technological quality of its flours must be modified for bakery applications. The objective was to evaluate the effect of different extrusion conditions on techno-functional properties of whole Andean corn (Zea mays) and quinoa (Chenopodium quinoa) flours, and the expansion of their doughs. The proximal composition and apparent amylose of the native whole grain flours were determined. These were extruded in a single screw extruder with a compression ratio of 3: 1, at temperatures of 100, 120 and 140 °C and humidity of 20, 25 and 30%, with a screw speed of 100 rpm. Natives flours showed significant differences in their chemical composition. The techno-functional properties of the flours were modified by extrusion. The degree of expansion and the water absorption index (IAA) tended to increase with decreasing extrusion moisture. The luminosity of all extruded flours was lower than that of their native homologous. The doughs expansion volume had a high correlation with the percentage of free lipids of the extruded quinoa flours. The extrusion of the flours improved the expansion of the gluten-free doughs.

Palabras claves: Cultivos Andinos - Harinas Integrales - Sin Gluten - Extrusión.

Keywords: Andean Crops - Whole Flours - Gluten Free - Extrusion.

1. INTRODUCCIÓN

El maíz andino (Zea mays) es un cereal que se puede incluir de forma segura en la producción de alimentos sin gluten, sus harinas integrales son buena fuente de energía y fibra, pero pobres en minerales; sus proteínas tienen bajo valor biológico por deficiencia principalmente de lisina (Giménez, 2015). Las formulaciones a base de maíz suelen complementarse con harinas de quínoa (Chenopodium quinoa) o amaranto (Amaranthus caudatus), cuyas proteínas son ricas en lisina (Shotts, 2018; Díaz, 2013). De acuerdo al tipo de molienda pueden incluirse diferentes partes del grano, lo cual puede influir en sus propiedades tecnológicas (Pecoroni, 2017). El uso de harinas integrales plantea un gran desafío debido al efecto negativo que tendrían sobre la calidad del producto final.

La extrusión-cocción se utiliza ampliamente en la industria alimentaria para elaborar snacks y harinas precocidas (Escalante Arbuto, 2013). Los cambios fisicoquímicos producidos en los materiales almidonosos por efecto de las fuerzas de cizallamiento pueden cambiar su tecno-funcionalidad (Hamada 2017, Díaz 2015). Gómez (2016) obtuvieron buenos resultados aplicando la extrusión para modificar las propiedades tecnológicas de harinas libres de gluten y obtener panificados de calidad aceptable La selección adecuada de los parámetros de extrusión podría permitir obtener un ingrediente capaz de retener el gas durante la fermentación y el proceso de cocción.

El almidón es el componente más importante durante la extrusión de las harinas. Los cambios en las propiedades hidratación del material almidonoso y la reducción de los lípidos libres por interacción con la amilosa, son los primeros indicadores de la intensidad del tratamiento (Ma, 2017). La caramelización y la reacción de Maillard inducida por el tratamiento térmico pueden afectar el color de las harinas (Leonard, 2020; Martínez, 2015; Jozinović, 2016).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de diferentes condiciones de extrusión sobre las propiedades tecno-funcionales de harinas integrales de dos cultivos andinos para su potencial aplicación en panadería sin gluten.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

Se trabajó con maíz andino culli y quínoa real.

Para la elaboración de masas se utilizó: harinas de los granos andinos (extrudidas/nativas), aceite de girasol, levadura prensada, azúcar, sal y agua potable.

2.2 Caracterización fisicoquímica de las harinas nativas

2.2.1 Composición Proximal

La composición proximal de las harinas integrales de maíces se determinó por métodos AOAC (2014), utilizando los siguientes métodos:

Humedad (H): AOAC 925.09 (32.1.02. Proteína (P): Kjeldahl AOAC 984.13 (4.2.09). Lípidos (Lp): AOAC 920.39 (4.5.01). Cenizas (C): AOAC 923.03 (32.1.05). Carbohidratos (Ch) totales, por diferencia:

$$\%Ch=100-(\%H+\%P+\%Lp+\%C) \quad (1)$$

2.2.2 Contenido de Amilosa

Se aislaron los almidones de las harinas empleando el método de Gómez (1992) con modificaciones descriptas por Agama-Acevedo (2005), se usó éter etílico, alcohol 96° y mallas 40, 100 y 200mesh.

El contenido de amilosa aparente de los almidones se determinó por el método colorimétrico de Juliano (1981) como lo describió Cornejo (2015) en presencia de yodo y empleando mezclas patrones de Amilosa y Amilopectina de papa. Se midió la absorbancia a 620nm (Espectrofotómetro UV/Vis: UV-6300 PC Double Bram Mapada- Mapada Instrument). Las mediciones se realizaron por triplicado.

2.3 Acondicionamiento y molienda del material

Los granos andinos se secaron en secador solar durante 72h. Luego se molieron en molino de martillos. Se utilizó una malla de 710µm de abertura para separar las fracciones gruesas retenidas y remolerlas con el fin de obtener granulometrías adecuadas para la extrusión y panificación (Martínez, 2015). Las fracciones obtenidas se mezclaron y homogeneizaron para obtener las harinas integrales.

2.4 Extrusión de las harinas integrales

Las harinas integrales nativas se hidrataron a niveles de humedad del 20, 25 y 30%, con un período de estabilización de 15 min en bolsas de polietileno. Luego se extrudieron a temperaturas de 100, 120 y 140ºC (Giménez, 2013), en un extrusor de tornillo simple (propiedad de la Cooperativa CAUQUEVA), compuesta por una sección de calentamiento, sistema de refrigeración por camisa de agua, con termocuplas a la entrada y salida del extrusor. Se usó un tornillo con relación de compresión 3:1 y velocidad de

100rpm.
Los productos extrudidos se secaron en secador solar hasta humedad constante (10%). Luego los expandidos secos se molieron en molino de martillo, se tamizaron y remolieron las fracciones gruesas (>710µm). Las fracciones obtenidas se mezclaron y homogeneizaron.

2.4.1 Grado de expansión

El grado de expansión (Gexp) se determinó de acuerdo a Jozinović (2016) aplicando la siguiente ecuación:

(2)

$$Gexp = \frac{d}{do} \quad "1"$$

Donde d: diámetro del producto expandido y d_0: diámetro de la boquilla del extrusor. La medición de los diámetros de los expandidos se llevó a cabo por decuplicado.

2.4.2 Propiedades de Hidratación

Se determinaron los Índices de Absorción de Agua (IAA) e Índices de Solubilidad en Agua (ISA) de las harinas nativas y extrudidas por el método de Anderson (1969) con las modificaciones planteadas por Hamada (2017). 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 30ºC 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 de Petri y se evaporaron a 110°C para determinar los sólidos solubles. Los IAA e ISA se calcularon según las ecuaciones 3 y 4.

(3)

$$IAA\ (g/g) = \frac{Wr}{Wi} \quad "1"$$

(4)

$$ISA\ (\%) = \frac{Ws}{Wi} * 100 \quad "1"$$

Dónde: Wi: g de las harinas; Wr: g de gel y Ws: g de sobrenadantes secos.

2.4.3 Lípidos Libres

Se determinaron lípidos libres en harinas extrudidas mediante extracción con solvente por soxhlet (Byars, 2015). Para el cálculo se utilizó la fórmula:

(5)

$$\%LL = \frac{(Pi - Pf)ext}{(Pi - Pf)nat}$$

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.

2.4.4 Determinación del color

Se midieron parámetros de color en harinas nativas y extrudidas (Colorímetro Color Quest XE, Hunterlab) por triplicado (Martínez, 2015). Se empleó el sistema CIE L*a*b*, que comprende las coordenadas L* que determina la luminosidad, a* determina en la zona de valores positivos los rojos y en la zona de valores negativos los verdes, b* determina en la zona de valores positivos los amarillos y en la zona de valores negativos los azules (Escalante Aburto, 2013).

2.6 Capacidad de expansión de las masas durante la fermentación

Se elaboraron masas de 50g por método directo con todas las harinas extrudidas, sustituyendo 10% de las harinas nativas. Las muestras se introdujeron en probetas de 500mL y se colocaron en la cámara durante 3 horas, a 30ºC y 80-90% de humedad relativa. Se registró el volumen de las masas a los 0, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 150 y 180 minutos (Wu, 2009). La prueba se llevó a cabo por triplicado.

2.7 Análisis de datos

Los datos obtenidos se analizaron con el programa estadístico INFOSTAT (versión 2017.1.2). Se llevó a cabo un análisis de varianza con prueba de Tukey a un nivel de significancia de 0,05 para comparar los tratamientos y un Análisis de Componentes Principales (ACP).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En Tabla 1 se muestra la composición proximal y contenido de amilosa de los granos andinos estudiados. El contenido de proteínas y cenizas de la harina nativa de quínoa fue significativamente superior ($p<0,05$) a la de la harina nativa de maíz culli. Este último presentó el mayor contenido de carbohidratos. Los valores de composición de estas harinas integrales fueron similares a los reportados en otros trabajos (Turkut, 2016; Shotts, 2018).

Tabla 1. Composición química de harinas integrales de maíz culli y quínoa.

Componente	Maíz culli	Quínoa
Proteínas (g/100gbs)	7,70 ±0,24[a]	14,80±0,18[b]
Lípidos (g/100gbs)	5,57±0,62[a]	7,47±0,83[a]
Cenizas (g/100gbs)	1,72±0,02[a]	2,34±0,043[b]
Carbohidratos (g/100gbs)	75,91±0,43[b]	57,20±1,01[a]
Amilosa (%)	22,81±0,74[b]	12,79±1,019[a]

Letras diferentes entre columnas indican diferencias significativas (p<0,05).

Por su contenido de amilosa ambos cultivos tendrían almidones de tipo normal (Kong, 2015). La quínoa presentó un valor significativamente (p<0,05) más bajo que el maíz culli. Esta diferencia en el contenido de amilosa podría influir en la funcionalidad tecnológica de las harinas integrales, afectando su comportamiento durante el procesamiento térmico y los cambios en sus propiedades tecnológicas. Así lo indicó Sánchez (2008) cuando estudió las propiedades de panes sin gluten elaborados con distintas variedades de arroz.

En las Figuras 1-A y 1-B se muestran los grados de expansión de los extrudidos. Las muestras de maíz culli mostraron incrementos significativos (p<0,05) de la expansión con la disminución de la humedad únicamente a 120°C, alcanzó la máxima expansión a 20%H. Las muestras extrudidas de quínoa presentaron una tendencia al aumento del Gexp con la disminución de la humedad a las diferentes temperaturas. Byars (2015) encontró un aumento del Gexp con la disminución de la humedad de extrusión en mezclas de harina de maíz con chía a temperaturas y humedades cercanas a la de este trabajo. Esto se debe a que el agua actúa como plastificante del almidón, cambiando la estructura molecular de la amilopectina, reduciendo la elasticidad del material durante la extrusión, induciendo un colapso debido a las altas presiones de vapor alcanzadas (Bisharat, 2013).

El Gexp puede variar de acuerdo al contenido de almidón y sus propiedades reológicas (Jozinovic, 2016). El contenido diferente de carbohidratos en las muestras estudiadas podría explicar parte de la diferencia en el Gexp encontrada, pero fundamentalmente la morfología y la diferencia en la relación amilosa/amilopectina del almidón que lo componen.

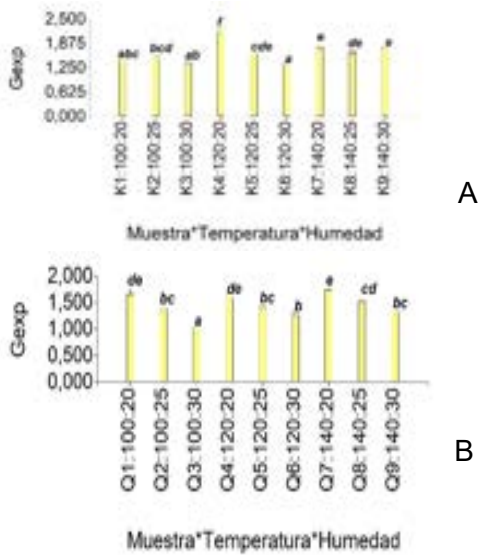


Figura 1: Grado de expansión de harinas integrales extrudidas de A- maíz culli y B- quínoa. Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas (p<0,05).

El IAA está relacionado con el grado de cocción de las harinas, altas absorciones de agua de las harinas indicarían mayor gelatinización del almidón. El ISA se asocia a la producción de almidón dañado o moléculas de bajo peso molecular derivadas de la degradación de biopolímeros solubles en agua por cizallamiento (Contreras Jiménez, 2014).

En la Figura 2.A y 2.B se muestran los IAA e ISA de las harinas extrudidas de maíz culli y quínoa respectivamente. Se encontró que todas las muestras extrudidas aumentaron su IAA en relación a las harinas nativas, las harinas de maíz y quínoa extrudidas presentaron sus máximos a 20%H-120°C. La harina nativa de maíz culli tuvo un valor de 2,72±0,06 (g/g). La harina de quínoa nativa presentó un valor de 2,78±0,05(g/g). El IAA de las harinas extrudidas de ambos cultivos tendió a aumentar con la disminución de la humedad a 100 y 120°C, pero solo las muestras de quínoa extrudidas a 100°C presentaron aumentos significativos con la disminución de la humedad (p<0,05). Néder Suarez (2016) obtuvieron resultados similares con harina de maíz refinada en condiciones similares a las de este trabajo. Las harinas con alto IAA, serían útiles para modificar la consistencia de masas sin gluten por su mayor capacidad de captar agua.

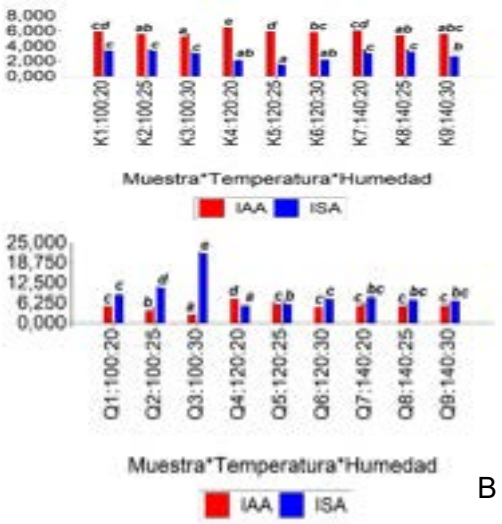


Figura 2: Índice de Absorción de Agua (IAA) e Índice de Solubilidad en Agua (ISA) de harinas integrales extrudidas de A- maíz culli y B- quínoa. Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas (p<0,05).

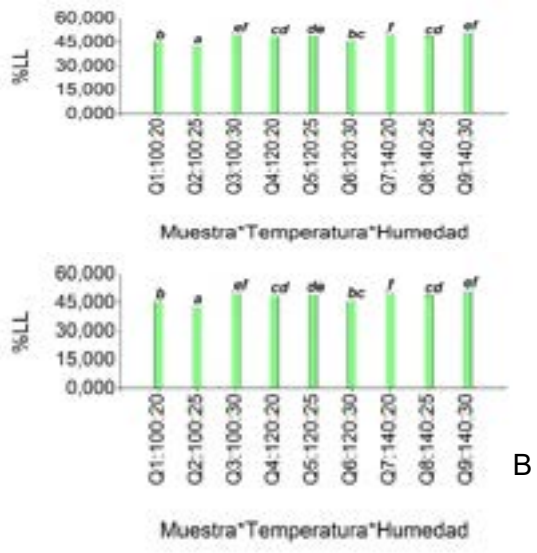


Figura 3: Porcentaje de Lípidos Libres presentes en muestras extrudidas de A-maíz culli y B-quínoa. Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas (p<0,05).

En cuanto al ISA, las harinas extrudidas de maíz culli presentaron menores valores de este parámetro que las de quínoa. La extrusión de las harinas redujo el ISA en varias muestras respecto a su homóloga nativa. La harina nativa de maíz culli tuvo un valor de 5,43 ±0,22(g/g). La harina de quínoa nativa presentó un valor de 10,31±0,08 (g/g). Tanto la quínoa como el maíz prestaron una alta reducción de ISA a 20%H-120°C. Solo las muestras de quínoa extrudidas a 100 y 120°C presentaron disminuciones significativas (p<0,05) con la disminución de la humedad de extrusión. Estas disminuciones en el ISA podrían deberse al fenómeno de polimerización de compuestos de bajo peso molecular (Stephen, 2006). Los compuestos derivados de la degradación de los carbohidratos de las harinas suelen tener un impacto negativo sobre el volumen del pan (Callejo Gonzales, 2002), por lo cual las reducciones del ISA obtenidas en las muestras extrudidas podrían contribuir al aumento del volumen de los panes.

Los lípidos libres extraibles en muestras de harinas extrudidas se redujo en relación a los lípidos presentes en las harinas nativas (Figuras 3.A y 3.B). Esta reducción se asocia a un posible complejamiento de los lípidos con la amilosa de las harinas, lo que podría modificar la funcionalidad del almidón (Byars, 2015) y por consiguiente la calidad del pan elaborado.

La mayor reducción del %LL se dio en las muestras de maíz culli. El mayor contenido de amilosa en estas muestras puede contribuir a la formación de complejos amilosa-lípido (Abd El-khalek, 2010). La formación de estos complejos tiende a reducir la solubilidad en agua de la amilosa y afecta el grado de gelatinización del almidón (Jozinović, 2016). Lo que podría explicar la disminución del ISA en las harinas extrudidas de maíz culli. Sin embargo, cuando se compara la reducción de los lípidos libres en las muestras extrudidas sólo las de quínoa presentaron diferencias significativas (p<0,05) a diferentes humedades de extrusión a 100 y 140°C.

La determinación del color suele estimar la intensidad del tratamiento térmico en harinas (Becker, 2014). En las tablas 2 y 3 se muestras los parámetros de color de las muestras extrudidas de maíz culli y quínoa respectivamente.

Tabla 2. Parámetros de color de harinas integrales extrudidas de maíz culli

%H-T(°C)	L	%H-T(°C)	a	%H-T(°C)	b
K2: 25-100	43,70±0,11[a]	K3: 30-100	4,41±0,02[a]	K2: 25-100	1,38±0,03[a]
K3: 30-100	43,79±0,12[a]	K6: 30-120	4,56±0,03[b]	**K6: 30-120**	1,45±0,03[ab]
K6: 30-120	43,88±0,10[a]	K2: 25-100	4,69±0,02[c]	K9:30-140	1,52±0,03[b]
K5: 25-120	44,35±0,01[b]	K9: 30-140	4,84±0,08[d]	K3: 30-100	1,53±0,05[b]
K9: 30-140	44,61±0,09[c]	K5: 25-120	4,86±0,05[d]	**K5: 25-120**	1,72±0,02[c]
K8: 25-140	44,95±0,04[d]	K8: 25-140	5,25±0,03[e]	K8: 25-140	1,82±0,02[d]
K4: 20-120	45,41±0,03[e]	K4: 20-120	5,34±0,03[ef]	**K4: 20-120**	2,18±0,03[e]
K1: 20-100	45,54±0,12[e]	K1: 20-100	5,40±0,04[f]	K1: 20-100	2,42±0,03[f]
K7: 20-140	46,41±0,11[f]	K7: 20-140	5,68±0,06[g]	K7: 20-140	2,79±0,04[g]

Las condiciones de extrusión se muestran como pares de humedad-temperatura y se encuentran ordenados en orden creciente para cada parámetro de color. Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas (p<0,05).

Tabla 3. Parámetros de color de harinas integrales extrudidas de quínoa.

%H-T(°C)	L	%H-T(°C)	a	%H-T(°C)	b
Q9: 30-140	72,58±0,06[a]	Q1: 20-100	0,00±0,01[a]	**Q3:30-100**	16,70±0,05[a]
Q8: 25-140	73,00±0,09[b]	Q4: 20-120	0,09±0,02[b]	Q8: 25-140	17,93±0,12[b]
Q1: 20-100	73,26±0,05[c]	Q7: 20-140	0,16±0,01[c]	Q9: 30-140	17,93±0,04[b]
Q5: 25-120	73,49±0,11[d]	Q9: 30-140	0,30±0,02[d]	Q4: 20-120	18,07±0,05[bc]
Q6: 30-120	73,61±0,06d[e]	Q2:25-100	0,35±0,02[de]	**Q2:25-100**	18,08±0,04[bc]
Q7: 20-140	73,75±0,03[e]	Q5: 25-120	0,40±0,03[df]	**Q1: 20-100**	18,18±0,04[cd]
Q4: 20-120	74,04±0,03[f]	Q6: 30-120	0,45±00[f]	Q6: 30-120	18,28±0,03[d]
Q2: 25-100	74,14±0,07[f]	Q3:30-100	1,07±0,02[g]	Q5: 25-120	18,33±0,03[d]
Q3: 30-100	74,86±0,05[g]	Q8: 25-140	1,11±0,04[g]	Q7: 20-140	18,62±0,01[e]

Las condiciones de extrusión se muestran como pares de humedad-temperatura y se encuentran ordenados en orden creciente para cada parámetro de color. Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas (p<0,05).

Se observó una reducción de L en todas las muestras respecto a la harina nativaEsta reducción se asocia a un oscurecimiento de las harinas por pardeamiento de Maillard (Martinez, 2015). La muestra sin extrudir de maíz culli tenía un valor L de 71,29±0,04, mientras que la de quínoa 85,60±0,04. Se observó una tendencia a la reducción significativa de L con el aumento de la humedad de extrusión, a 120 y 140°C para las muestras de maíz culli y a 140°C para las de quínoa. Lo que indica que el aumento de humedad en estas muestras aumentó su pardeamiento y cocción.

El parámetro de color: a aumentó en los extrudidos de maíz culli y se redujo en los de quínoa. La muestra sin extrudir de maíz culli tenía un valor inicial de 2,90±0,01. La harina nativa de quínoa tenía un valor inicial de 0,88±0,06. A 20% de humedad el parámetro de color: a, fue mayor para las muestras de maíz culli extrudidas en todas las temperaturas, mientras que los extrudidos de quínoa presentaron una mayor disminución.

El parámetro: b, aumentó para todas las muestras extrudidas. El maíz culli sin extrudir tenía un valor inicial de 3,75±0,02, mientras que la quínoa tenía un valor de b de 13,32±0,13. Se observó una tendencia al aumento del parámetro b con la disminución de la humedad en muestras de maíz culli a 120 y 140°C, esa tendencia se observó en las muestras de quínoa pero solo a 100°C. Al igual que con L y a, el parámetro b presentó sus mayores valores a 20%H.

Los cambios de color de las harinas sometidas a extrusión, se atribuyen a reacciones de Maillard, caramelización, hidrólisis y degradación de los pigmentos naturales de la materia prima (Jozinovic, 2016).

Se determinó la capacidad de expansión de las masas elaboradas con harinas integrales sustituidas con sus homólogos extrudidos. A los 20 minutos de fermentación alcanzaron el punto de mayor expansión,

este punto se analizó junto a las propiedades tecno-funcionales de las muestras a través de un ACP (Figura 4). El volumen desarrollado por las masas de quínoa fueron superiores a las de maíz culli, la diferencia entre estas muestras se encuentra principalmente en el grado de complejamiento de los lípidos. Las harinas extrudidas en la condición 25%H-100°C empleadas para elaborar las masas desarrollaron los mayores volumenes, con ΔV de 10cm^3 y 25,5cm^3 para el maíz culli y quínoa respectivamente. Las masas sustituidas con harinas extrudidas presentaron mayor volumen que el control de harinas 100% nativas y lo mantuvieron en el tiempo. Las masas control colapsaron al cabo de 20 min. Martinez (2015), encontró este mismo efecto al adicionar harina extrudida a masas de arroz sin gluten.

El ACP muestra una correlación positiva entre el volumen desarrollado por las masas de quínoa sustituidas y el aumento de %LL; mientras en las masas de maiz culli hay una correlación negativa. Es posible que los lípidos complejados fortalezcan las masas sin gluten, confiriendo la rigidez necesaria a las masas para resistir la fermentación, pero de manera limitada. Un alto complejamiento estaría asociado a masas de menor volumen.

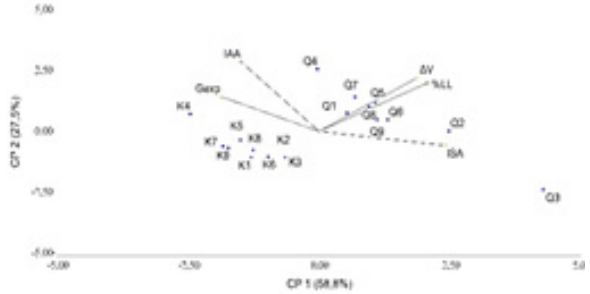


Figura 4: Relación de la expansión de masas (ΔV en cm^3) de harinas integrales nativas sustituidas con sus homólogas extrudidas (maíz culli y quínoa) y su correlación con las propiedades tecno-funcionales analizadas.

4. CONCLUSIÓN

El tratamiento de cocción por extrusión de las harinas integrales de granos andinos permitió obtener un material aplicable en panadería. La humedad de extrusión tuvo mayor efecto sobre los cambios en las propiedades tecno-funcionales que la temperatura. Se pudo mejorar la capacidad de expansión de las masas sin gluten y evitar su colapso durante la fermentación. Las condiciones de extrusión de baja cocción como 25%H-100°C podrían dar harinas más adecuadas para formular panificados sin gluten porque los panes elaborados con estas harinas dan masas de mayor volumen en el rango de condiciones estudiadas. Además, un grado intermedio de complejamiento de los lípidos favorece el desarrollo de las masas.

5. REFERENCIAS

Agama-Acevedo, E., Ottenhof, M. A., Farhat, I. A., Paredes-López, O., Ortíz-Cereceres, J., & Bello-Pérez, L. A. Aislamiento y caracterización del almidón de maíces pigmentados. Agrociencia, 39(4): 419-429, 2005.

AOAC International. Official Methods of Analysis International.www.aoca.org. 2014

Becker, F. S., Eifert, E. D. C., Soares Junior, M. S., Tavares, J. A. S., & Carvalho, A. V. Physical and functional evaluation of extruded flours obtained from different rice genotypes. Ciência e Agrotecnologia. 38: 367-374, 2014.

Bisharat, G. I., Oikonomopoulou, V. P., Panagiotou, N. M., Krokida, M. K., & Maroulis, Z. B. Effect of extrusion conditions on the structural properties of corn extrudates enriched with dehydrated vegetables. Food research international. 53(1): 1-14, 2013

Byars, J. A., & Singh, M. Properties of extruded chia–corn meal puffs. LWT-Food Science and Technology. 62(1): 506-510, 2015.

Callejo González, M. J. Industrias de Cereales y Derivados. Ed. AMV-Mundi-Prensa. Madrid-España. 2002.

Contreras Jiménez, B., MoralesSanchez, E., Reyes-Vega, M. L., & Gaytán-Martínez, M. Propiedades funcionales de harinas de maíz nixtamalizado obtenidas por extrusión a baja temperatura. CyTA-Journal of Food. 12(3): 263-270, 2014.

Cornejo, F., & Rosell, C. M. Physicochemical properties of long rice grain varieties in relation to gluten free bread quality. LWT-Food Science and Technology. 62(2): 1203-1210, 2015.

Díaz, J. M. R., Suuronen, J. P., Deegan, K. C., Serimaa, R., Tuorila, H., & Jouppila, K. Physical and sensory characteristics of corn-based extruded snacks containing amaranth, quinoa and kañiwa flour. LWT-Food Science and Technology. 64 (2): 1047-1056, 2015.

Escalante Aburto, A., Ramírez Wong, B., Torres Chávez, P. I., Figueroa Cárdenas, J. D., López Cervantes, J., Barrón Hoyos, J. M., & Morales-Rosas, I. Effect of extrusion processing parameters on anthocyanin content and physicochemical properties of nixtamalized blue corn expanded extrudates. CyTA-Journal of Food. 11(1): 29-37, 2013.

Giménez, M. A., Gámbaro, A., Miraballes, M., Roascio, A., Amarillo, M., Sammán, N., & Lobo, M. Sensory evaluation and acceptability of gluten-free Andean corn spaghetti. Journal of the Science of Food and Agriculture. 95(1): 186-192, 2015.

Giménez, M. A., González, R. J., Wagner, J., Torres, R., Lobo, M. O., & Samman, N. C. Effect of extrusion conditions on physicochemical and

sensorial properties of corn-broad beans (Vicia faba) spaghetti type pasta. Food chemistry. 136(2): 538-545, 2013.
Gómez, M. & Martínez, M. M. Changing flour functionality through physical treatments for the production of gluten-free baking goods. Journal of Cereal Science. 67: 68-74, 2016.
Hamada S. Hegazy, Abo El-Fath A. El-Bedawey, El-Sayed H. Rahma, Ahmed M. Gaafar. Effect of Extrusion Processs on Nutritional, Functional Properties and Antioxidant Activity of Germinated Chickpea Incorporated Corn Extrudates. American Journal of Food Science and Nutrition Research. 4 (1): 59-66, 2017.
Jozinović, A., Šubarić, D., Ačkar, Đ., Babić, J., & Miličević, B. Influence of spelt flour addition on properties of extruded products based on corn grits. Journal of Food Engineering. 172: 31-37, 2016.
Kong, X., Zhu, P., Sui, Z. & Bao, J. (2015). Physicochemical properties of starches from diverse rice cultivars varying in apparent amylose content and gelatinisation temperature combinations. Food chemistry. 172: 433-440, 2015.
Leonard, W., Zhang, P., Ying, D. y Fang, Z. Application of extrusion technology in plant food processing byproducts: An overview. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 19 (1): 218-246, 2020.
Ma, C., Fan, Y., Wu, S., Zhang, Z., & Zhang, D. Analysis of the Complex Index of Extruded Corn Starch and Degermed Corn. Journal of Food Research. 6(6): 56, 2017.
Martínez M. M. Influencia de la adición de harinas extruidas en la elaboración de panes de arroz. Universidad de Valladolid. http://uvadoc.uva.es/handle/10324/1096. 2015.
Néder Suarez D., Quintero Ramos A. & Amaya Guerra C.A. Efecto de la extrusión-cocción en la formación de almidón resistente. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos. 1(1): 36-41, 2016.
Sánchez, H. D., González, R. J., Osella, C. A., Torres, R. L., & De la Torre, M. A. G. Elaboración de pan sin gluten con harinas de arroz extrudidas. CYTA. 6(2): 109-116, 2008.
Shotts, M. L., Pujolras, M. P., Rossell, C., & Rodriguez-Saona, L. Authentication of indigenous flours (Quinoa, Amaranth and kañiwa) from the Andean region using a portable ATR-Infrared device in combination with pattern recognition analysis. Journal of Cereal Science. 82: 65-72, 2018.
Stephen, A.M., & Phillips, G.O. Food Polysaccharides and Their Applications. CRC Press. Londres. 2006.
Turkut, GM, Cakmak, H., Kumcuoglu, S. & Tavman, S. Effect of quinoa flour on gluten-free bread batter rheology and bread quality. Journal of Cereal Science. 69: 174-181, 2016.
Wu, K. L., Sung, W. C., & Yang, C. H. Characteristics of dough and bread as affected by the incorporation of sweet potato paste in the formulation. Journal of marine science and technology. 17(1): 13-22, 2009.

Costos en la producción de plantines de Prosopis alba. Estudio de caso

Cardona Gabriela[1]; Sánchez Ugalde, Rocio[1], García, Jorge[1]; Sarmiento, Miguel[1]

(1) Cátedra de Economía y Administración Forestal. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero.
cardona@unse.edu.ar; rociosug@gmail.com; migui@unse.edu.ar; jorgegarcia5439@gmail.com

RESUMEN

Los vacíos de información actualizada en el sector forestal en la provincia de Santiago del Estero (Argentina) motivaron a la realización del presente trabajo, para el cual se consideró oportuno la medición de variables para el cálculo de costos de producción de plantines de *Prosopis alba* que fueron generados en el marco del Programa Forestal Santiagueño (PFS).
El PFS, en lo que respecta a la campaña 2017-2018, generó la demanda de plantines para la plantación de 200 hectáreas en la provincia, que equivalen a 100.000 plantas de *Prosopis alba*. Fueron tres los viveros certificados que participaron como proveedores en estas plantaciones, y se seleccionó uno de ellos para efectuar la presente investigación que se basa en un estudio de caso. El objetivo de este trabajo es calcular el costo unitario obtenido por la producción de plantines de *Prosopis alba* en el vivero Foresto Terra.
Entre los resultados se puede apreciar que el costo unitario por plantín es de US$ 0,3 (dólares estadounidenses), según el capital utilizado. El componente que mayor incidencia tiene en la valuación del capital es el valor de la tierra, por lo que resulta importante su preservación. El cálculo de costos es de suma importancia en los sistemas productivos.

Production costs of Prosopis alba seedlings. Case study

ABSTRACT

The gaps in updated information in the forestry sector in the province of Santiago del Estero (Argentina) led to the realization of this work, for which it was considered appropriate to measure variables for the calculation of production costs of Prosopis alba seedlings that They were generated within the framework of the Santiagueño Forest Program (PFS).
The PFS, with regard to the 2017-2018 campaign, generated the demand for seedlings for the plantation of 200 hectares in the province, equivalent to 100,000 Prosopis alba plants. There were three certified nurseries that participated as suppliers in these plantations, and one of them was selected to carry out the present investigation, which is based on a case study. The objective of this work is to calculate the unit cost obtained by the production of Prosopis alba seedlings in the Foresto Terra nursery.
Among the results, it can be seen that the unit cost per seedling is US $ 0.3 (US dollars), depending on the capital used. The component that has the greatest impact on capital valuation is the value of the land, which is why its preservation is important. The calculation of costs is of utmost importance in production systems

1. INTRODUCCION

En el año 2017 se implementó el Programa Forestal Santiagueño (PFS), que continua vigente hasta la actualidad y cuyo objetivo es contribuir a la recuperación de suelos degradados en el área de riego de la provincia de Santiago del Estero, promoviendo plantaciones de *Prosopis alba* Griseb. a ser efectuadas por pequeños y medianos productores de esta Provincia con el estímulo de la Ley Nacional N°25.080 (Cardona *et al*, 2018).

Desde la ejecución del PFS, en lo que respecta a la campaña 2017-2018, se plantaron aproximadamente 200 hectáreas en la Provincia, que equivalen a 100.000 plantas de *Prosopis alba* (Silva Torres *et al*, 2018) considerando una densidad de 500 plantas por hectárea con un espaciamiento de 4 m x 5 m. Con el PFS se beneficiaron 14 productores con superficies de hasta 20 hectáreas en los departamentos Banda, Robles y Sarmiento.

Estas plantaciones, promovidas por el PFS, llevaron a que los viveros certificados de la provincia produjeran plantines para poder abastecer estas necesidades planificadas de plantación y fueron tres los viveros que participaron como proveedores. En la presente investigación se analiza un estudio de caso en un vivero, ubicado en la localidad de La Abrita, departamento Silípica en Santiago del Estero, a 26 kilómetros de la ciudad Capital de esta Provincia. El objetivo de este trabajo es calcular el costo unitario promedio de producción de cada plantín de *Prosopis alba* en este vivero, el cual produjo para la campaña 2017-2018 del PFS, unos 40.000 plantines.

Para efectuar los cálculos correspondientes, se aplicó la metodología de valuación del capital (Frank, 1995) considerando el capital con el que cuenta el vivero analizado. Esta metodología es muy utilizada en valuación de capital para emprendimientos con fines agropecuarios, como lo muestran trabajos de Paturlanne, (2015) y Engler *et al.*, (2016). En la actividad forestal este tipo de metodología queda utilizada como en los trabajos de Hernández-Díaz *et al.* (2015), quienes resaltan que la producción del vivero debe ser competitiva en costos y también garantizar que las plántulas tengan los atributos morfológicos y fisiológicos adecuados para que se adapten en forma satisfactoria al sitio de plantación definitiva. Sin embargo, es a menudo muy difícil decidir la mejor combinación de insumos a ser utilizados para lograr los resultados más deseables, eficaces y de costo adecuado en el proyecto de forestación o reforestación. Son escasos los estudios que utilicen la metodología de costos históricos en viveros forestales por lo que esta vacancia dificulta las comparaciones y discusiones con otros autores.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Relevamiento de datos

Para la recolección de información se seleccionó a uno de los tres viveros que participaron como proveedores de plantas en el PFS. El vivero seleccionado está inscripto en el Instituto Nacional de Semillas (INASE) y fue quien tuvo una mayor participación en la producción de plantines en la campaña 2017-2018 del PFS. Se ubica en la localidad de La Abrita, en el departamento Silípica de la provincia de Santiago del Estero. Superficie 3500m^2 (50X70), cuenta con una oficina y depósito de herramientas, está cubierto con media sombra 80% (16X12=192 m2 =200 M2 cubierto con media sombra). Cuenta con 9 canteros de 16m de largo x 1m de ancho y entre calles de 0.5m (7 canteros están dentro del sombráculo y 2 están fuera con el fin de rustificar las plantas), además un silo bolsa para base de canteros 201m2, capacidad por cantero de 5000-5200 plantines. Se utiliza tierra del lugar como sustrato y envases de 6cm x 18 cm. Las semillas recibieron un tratamiento pre germinativo durante 24 horas en agua y la siembra se efectúa en el mes de noviembre en 2 etapas. Las semillas de algarrobo utilizadas son de 2 procedencias: del Rodal certificado "Las Niñas" (Los Arias - Dpto. Robles) y de la Cooperativa Agro Naciente (Colonia el Simbolar - Dpto. Robles). El vivero demanda 8hs diarias de trabajo, con picos de 12 en la época de siembra. Se tiene 1 empleado de lun a viernes- 300$/jornal en los meses que está parado. El llenado y siembra la realizan mujeres. Se paga por destajo. Cinco personas inicialmente para llenado y siembra y un sexto que preparaba el sustrato . El sustrato de tierra utilizado es una mezcla con perlita para darle porosidad ya que no había mantillo en ese momento. Se realizaron estudios previos para ver el comportamiento de agroquímicos; por lo que tanto el insecticida y el fungicida se aplican juntos ya que son compatibles, El vivero también cuenta con una bomba de ½ hp, un tanque enterrado de 1500l que almacena el agua para el riego y otro tanque de 1000l elevado. La actividad del regado se realiza con una manguera que tiene una pistola en la punta tipo llovizna, se riega hasta la germinación. Después de la germinación se realiza riego puntual con manguera para evitar hongos como damping off . El riego se realiza en el momento de siembra entre 5-7 veces por día cada una hora hasta lograr germinar la plántula, siempre dependiendo de la evapotranspiración

2.2. Metodología de trabajo

La metodología del trabajo consistió en tres pasos fundamentales: i) realizar un inventario del capital

que posee el establecimiento analizado y clasificarlo de acuerdo al tipo de capital de que se trate; ii) efectuar la valuación del capital y, finalmente; iii) efectuar los cálculos de los costos según la metodología de cálculo utilizada por Frank (1995) y por Zehnder y Borga (1999) para calcular costos en el sector agropecuario.

2.3. Inventario y clasificación del capital de la empresa

Tomando lo dicho por Frank (1995), el capital se puede clasificar en capital fundiario y en capital de explotación, que a su vez pueden subdividirse en las categorías que se muestran en la Figura 1:

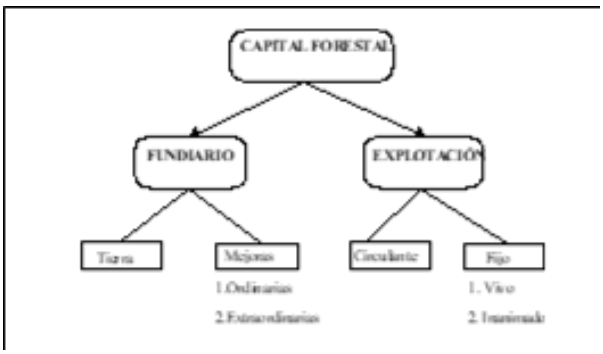


Figura 1. Clasificación del capital de una empresa. Fuente: Frank (1995).

En primera instancia es necesario realizar un inventario del capital que posee la empresa enumerando a cada uno de ellos. Luego, la clasificación del capital es importante, pues conviene desagregar en rubros al capital a efectos de permitir un mejor análisis de la empresa (Coronel de Renolfi y Cardona, 2013).
Según lo descripto por Frank (1995), el Capital entonces se divide en:
A) El capital fundiario es el fundo o inmueble en sí. Lo constituyen los bienes inmóviles por su naturaleza (no se pueden desplazar), cuyo destino es fijo en la empresa (permanecer varios ejercicios productivos). Son capitales auxiliares (ayudan al capital básico a cumplir con su fin) y duran más de un ejercicio. Dentro de este, se distingue:
1. Tierra: se entiende como tal, la tierra libre de mejoras. Se caracteriza por poseer una duración ilimitada (en tiempo). Cuando se afirma que la tierra es indestructible se concibe a la tierra como espacio físico en el que se asienta la producción.
2. Mejoras extraordinarias: son aquellas que una vez realizadas quedan incorporadas a la tierra, de modo de confundirse con ella, a tal punto que, en general, se valúan con ella, aumentando su valor. Se las considera económicamente indestructibles, al igual que la tierra (vida útil ilimitada), pues perduran infinitos actos productivos (perduran en el tiempo, no necesariamente en calidad). Son ejemplos el desmonte, emparejamiento, nivelación, sistematización, construcción de canales, caminos, represas, obras de riego, obras de drenaje.
3. Mejoras ordinarias: mantienen su individualidad con respecto a la tierra y requieren ser reconstituidas periódicamente. Aunque participan en la producción durante más de un ciclo productivo, son económicamente destructibles, tienen vida limitada ya que se agotan con el uso y se deben reponer, transcurrida su vida útil. Ejemplos de este tipo de mejoras son los alambrados, tranqueras, corrales, molino, pozo, perforaciones, tanque australiano, aguadas, equipos de riego (tuberías y emisores), sistemas de conducción o soporte de cultivos, invernáculos, plantaciones perennes de pasturas, árboles frutales, cortinas forestales, construcciones en general (casas, galpones), etc.
B) El capital de explotación comprende todos aquellos bienes móviles por su naturaleza, bienes muebles (pueden ser desplazados, a diferencia del capital fundiario), siendo variable su función y los años de duración en la empresa según el tipo de capital de explotación.
1. Capital de explotación fijo o de inversión: se lo utiliza en varios actos productivos. Comprende aquellos bienes que no desaparecen con la primera utilización que se haga de ellos en el proceso productivo. Son los llamados bienes muebles, durables o de producción. El capital fijo puede ser:
Fijo vivo: comprende los animales que posea la empresa tales como reproductores (toros), animales de trabajo (caballos) y animales de renta (vacas, terneros, ovejas).
Fijo inanimado: comprende máquinas, rodados, herramientas, muebles y demás útiles.
2. Capital de explotación circulante o de funcionamiento: sólo puede emplearse en un acto productivo, puesto que se consume totalmente con su primera utilización. Es el capital destinado a cubrir las necesidades de la evolución corriente de la empresa. Puede ser capital en forma de dinero, depósitos bancarios, materias primas y otros insumos o existencias en depósito. También lo es la producción en proceso e incluso producción terminada disponible para la venta, es decir, activos que pueden venderse y hacerse líquidos; o sea, convertirse en dinero sin modificar la estructura productiva del establecimiento.

2.2. Valuación del capital

La valuación del capital se refiere a la colocación de un valor monetario al mismo. Para ello se deben seguir las pautas señaladas en el Cuadro 1, en la que según Frank (1995), el valor monetario a colocar debe estar sujeto al tipo de capital.
Tabla 1. Valuación del capital de la empresa

Fuente: Frank (1995).

Tipo de capital	*Valuación*
Tierra	Valor libre de mejoras
Mejoras Extraordinarias	Costo de realización
Mejoras Ordinarias	Valor Residual Activo
Capital Fijo Inanimado	Valor Residual Activo
Capital Fijo Vivo	Precio de venta – Costo de flete y comercialización
Capital Circulante	Precio de mercado

2.3. Cálculo de costos

Para el cálculo de costos, se debe aclarar que se calcularon los costos históricos o reales del emprendimiento, entendiendo estos como costos efectivos, retrospectivos o resultantes. Son los costos en los cuales realmente incurrió la empresa en una actividad pasado, y por haber incurrido en el pasado, son costos inevitables. Se obtienen con posterioridad a la obtención del producto. Se refiere a un caso particular y su valor exacto depende de la exactitud de los datos empleados. Estos costos sirven para evaluar acciones pasadas y controlar la gestión de la empresa (Coronel de Renolfi y Cardona, 2013).
Para calcular los costos de producción se tienen en cuenta sus tres componentes, los gastos, las amortizaciones y los intereses (Cuadro 2). Los gastos son las erogaciones necesarias para adquirir los bienes y servicios que serán extinguidos totalmente en el acto de producir (Coronel de Renolfi y Cardona, 2013). En cuanto a las amortizaciones, se consideran como una cuota que permite la permanencia del capital que pierde valor con el paso del tiempo. Los intereses por su parte, representan la retribución al capital invertido, y se consideran como costos de oportunidad por no utilizarse el capital en otras alternativas de similar riesgo.
Para el cálculo de los gastos, tanto al capital fundiario como al capital de explotación fijo deben imputarse los gastos de conservación, mantenimiento y reparación, que son calculados, considerando un 2% de la valuación del capital, según Coronel de Renolfi y Cardona, 2013. En el caso del capital circulante, se considera el gasto como la erogación efectuada para su adquisición, equivalente al precio de mercado.

En cuanto a las amortizaciones se las calcula utilizando el método de amortización lineal (Frank. 1995) que consiste en dividir el valor a nuevo del capital por la vida útil del bien en cuestión.
Con respecto al cálculo del interés[1] se consideran los siguientes valores (Coronel de Renolfi y Cardona, 2013):

- El interés atribuido a la tierra, se calcula como la tasa de renta fundiaria del 5% aplicado a la valuación de la tierra.
- El interés que se imputa a las mejoras ordinarias, se calcula como la tasa de interés fundiario del 6% aplicado a la valuación de las mejoras ordinarias.
- El interés correspondiente al capital de explotación fijo inanimado se calcula como la tasa de interés mobiliario del 8% aplicable a la valuación del capital de explotación fijo.
- El interés atribuido al capital circulante se calcula como la tasa de interés circulante del 12% aplicable a la valuación del capital de explotación circulante.

Tabla 2. Calculo del Costo según el Capital Fuente: Frank (1995).

Capital	*Gasto*	*Amortización*	*Interés*
Tierra	Gastos de conservación	--	Valuación * i
Mej. Extraordinarias	Gastos de conservación	--	Valuación * i
Mej. Ordinarias	Gastos de reparación y mantenimiento	VN/n	VRA * i
Cap. Fijo Inanimado	Gastos de reparación y mantenimiento	(VN - VRP)/n	VRA * i
Capital Circulante	Gastos de producción	--	Valor * i

Otros aspectos a tener en cuenta para efectuar el cálculo de los costos de producción fueron los siguientes:

- Para efectuar la valuación del capital de la empresa se tomaron los valores del capital del mes de agosto de 2018.

En el caso de los bienes amortizables, particularmente en el caso de mejoras ordinarias y en el capital de explotación fijo se asume que se encuentran en la mitad de su vida útil.
Se consideró un porcentaje de fallas en semillas, errores en la colocación de las mismas, y otras contingencias, concordando por lo expresado por Guzmán *et al.* (2011).
El costo no tiene en cuenta traslados de plantines hacia las plantaciones, sólo se considera el costo de los plantines ubicados en el vivero.

3. RESULTADOS

3.1. Valuación del capital

1 Las tasas de interés utilizadas son tasas reales.

Para efectuar la valuación del capital se tuvieron en cuenta los precios de mercado local del capital correspondientes al mes de agosto del año 2018. Los valores obtenidos fueron convertidos a dólares estadounidenses según la cotización al 28 de agosto de 2018 de 32,18 pesos por dólar (tipo de cambio vendedor)[2]. Se realizó la conversión de moneda debido a la alta volatilidad de los precios internos.
Valuación del capital = Valor a nuevo * Duración futura / Duración total

Siendo la Duración futura la cantidad de años que le restan al capital para cumplir con la totalidad de su vida útil; y la Duración total es equivalente a la vida útil del capital. Para efectuar el análisis se consideró que las mejoras ordinarias y el capital de explotación fijo inanimado se encuentran en la mitad de su vida.
En términos generales, se encontró que el capital con que cuenta la empresa para producir los 40 mil plantines ronda en US $ 44.455,06 (dólares estadounidenses).
La incidencia en el capital según clasificación se resume en la figura 2, en la que se observa que la mayor participación en el capital total corresponde al capital fundiario (tierra más mejoras) logrado un porcentaje del 81,2%.

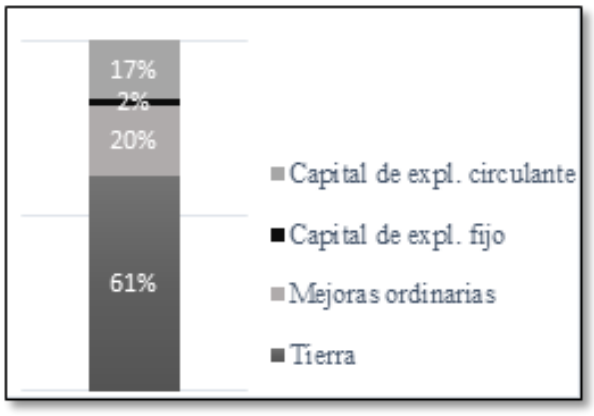


Figura 2. Porcentaje de participación en la valuación del capital según tipo de capital
Fuente: Elaboración propia

Dentro de las mejoras ordinarias, el 94% corresponde a la valuación de la oficina y depósito.
En cuanto al capital de explotación fijo, la mayor incidencia está dada por la computadora, impresora y escritorio con un 31%, seguido por los cajones de madera (tipo tomateros) que representan un 26,42%.
En cuanto al capital circulante el mayor peso en la valuación está representado por el personal operario y las cargas sociales que conjuntamente tienen una incidencia del 60,9 % del total.

2 Cotización del dólar del Banco Nación al 28 de agosto de 2018.

3.2. Costos de producción

Según estas consideraciones, el costo de producción de 40.000 plantines asciende a US $ 11.943,25 (dólares estadounidenses). Lo que arroja un costo unitario de US$ 0,30 por plantín de *Prosopis alba*. En donde la participación de cada componente del costo se distribuye como se indica en las siguientes figuras 3 y 4:

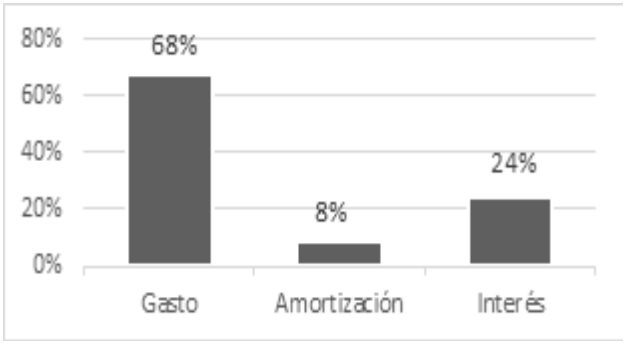


Figura 3. Porcentaje de participación en los costos según componente
Fuente: Elaboración propia

Como puede observarse en la Figura 4 la mayor incidencia de los costos se concentra en el capital circulante, ocupando más de dos tercios del costo total.

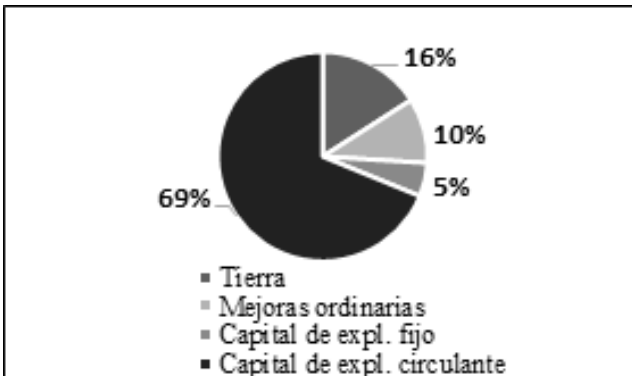


Figura 4. Porcentaje de participación en los costos totales según tipo de capital
Fuente: Elaboración propia

Dentro del capital circulante, los costos se concentran principalmente en los que respecta al personal ocupado y sus correspondientes cargas sociales, teniendo una incidencia del 77,4%.

3.3. Beneficios

Considerando un costo unitario por plantín de US $ 0,3 (dólares estadounidenses), y teniendo en cuenta

las tasas de rentabilidad de una inversión bancaria (plazo fijo), que en agosto del 2018 rondaban cerca del 32,4%[3] (TNA), por lo que se espera que la producción de plantines de *Prosopis alba* genere una rentabilidad de aproximadamente un 45% debido al riesgo de la actividad, el precio de venta del plantín para ser retirado del vivero debería fijarse en al menos US $ 0,43 (dólares estadounidenses). Si bien este puede ser considerado un precio de referencia, coincide a su vez con el precio que actualmente cobran los otros viveros de la provincia cuando efectúan una venta al por mayor.

Con estos valores, la rentabilidad anual unitaria sería de US $ 0,13, lo que llevaría a que la producción de 40.000 plantines genere aproximadamente US $ 5.110,8 como utilidades anuales.

Al realizar un análisis de sensibilidad del precio, se tiene

	actual	20%	-20%
CT (US $)	11943,25	12059,35	11828,81
CM plantin(US $)	0,30	0,30	0,30
Venta plantin(US $)	0,43	0,51	0,34
valuacion(US)	44455	44455,00	44455,00
Ganancia/pl (US $)	0,13	0,21	0,05
Beneficio total(US $)	5110,82	8450,28	1819,42

4. CONCLUSIONES

- El capital con que cuenta la empresa es apto para la producción anual de 40.000 plantines en cuanto a la capacidad instalada que posee mientras realiza la producción.
- Debido al ciclo de producción (solo 3 meses), se podría utilizar las instalaciones para producir otra especie contra estación, con el fin de bajar los costos.
- El valor de la tierra, representa un 61 % de la valuación final de su capital, por lo que resulta importante su preservación.
- La mano de obra con sus correspondientes cargas sociales, juega un papel importante en del capital circulante, con una incidencia del 77,4% del mismo.
- La producción anual de 40.000 plantines de algarrobo requiere de 6 obreros que trabajan tanto para la producción como para el acondicionamiento y preparación para los nuevos ciclos de producción.
- El precio final del plantín es el resultado del sistema de producción tenido en cuenta, tanto sus cuidados culturales como el acondicionamiento para la venta.
- El precio recomendado para la venta se toma teniendo como parámetro las tasas bancarias (con aproximadamente un 45% de sobreprecio), y el precio de la competencia local. Este porcentaje varía según la situación y la cantidad producida.
- La rentabilidad anual unitaria sería de US $ 0.13, considerando una producción de 40.000 plantines, lo que se traduce en US $ 5.110,8 de utilidades anuales.
- El análisis de sensibilidad del precio, muestra que el beneficio obtenido es realmente susceptible a los movimientos del precio, es decir afecta la toma de decisiones de compra de los consumidores.
- Se aconseja en caso de aumentos en el precio de venta del plantin, aumentar la productividad.

Agradecimientos: Los autores agradecen a Luis Carignano, titular del vivero Foresto Terra, ubicado en la localidad de La Abrita, en el departamento Silípica de la provincia de Santiago del Estero, Argentina, por las facilidades brindadas para obtener la información requerida para la presente investigación.

5. REFERENCIAS

Cardona, G., Sánchez Ugalde R., García J., Sarmiento, M., Veliz A., Vega C. 2018. *Metodología para determinar tiempos operativos de implantación de Prosopis alba en Santiago del Estero*. Revista Quebracho. Vol. 26 (1,2):79-89

Coronel de Renolfi, M. Cardona G. 2013. *Cómo calcular costos forestales*. 1ª ed. Lucrecia Editorial. Santiago del Estero, Argentina.

Engler, P; Gastaldi, M; Marino M; Esnaola, I. 2016. *Costos regionales de los sistemas primarios de producción de leche*. INTA. Argentina. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_metodologia_costos_de_leche_2016.pdf

Frank, R. 1995. *Introducción al cálculo de costos agropecuarios*. 6ta. Edición. Editorial El Ateneo. Buenos Aires.

Guzmán, A.; M. Coronel de Renolfi y M. Pece. 2011. *Determinación de fallas en la siembra comercial de Algarrobo blanco (Prosopis alba) en un vivero de Santiago del Estero*. Quebracho 19: 23-30. Santiago del Estero.

Hernández-Díaz J.C., J.A. Prieto-Ruiz, G. Pérez-Verdín, Ch. Wehenkel, M. Pompa-García, R. Lara Villa, C. Luján-Álvarez, J.M. Olivas-García. 2015. *Simulador de costos de producción de planta en viveros*. Universidad Juárez del Estado de Durango.

3 Tasa nominal anual (TNA) según Banco Central de la Rep. Arg. en la fecha: 28 de agosto de 2019.

México. https://www.researchgate.net/profile/Jose_Hernandez-Diaz/publication/287644209_MANUAL_DEL_USUARIO_DEL_Simulador_de_costos_de_produccion_de_planta_en_viveros_SIMCOVIV_Version_v1/links/5678269008ae0ad265c824ee/MANUAL-DEL-USUARIO-DEL-Simulador-de-costos-de-produccion-de-planta-en-viveros-SIMCOVIV-Version-v1.pdf?origin=publication_list

Paturlanne, J. 2015. *Relaciones factoriales en una empresa agropecuaria familiar del centro este de la pampa (2014-2015)*. Asociación Argentina de Economía Agraria. http://www.aaea.com.ar/_upload/files/publicaciones/71_20170106142510_t1.pdf

Silva Torres, H. Lund D., Coria M. 2018. *Campaña 2017/2018. El programa forestal santiagueño plantó 200 has de algarrobo blanco*. Revista Quipu Forestal N° 4, pág. 46. Santiago del Estero.

Zehnder R. y Borga S. 1999. *Pautas metodológicas para establecer el costo de producción en empresas lecheras*. ANUARIO INTA. Argentina.

ANEXO

CLASIFICACION		CAPITAL	VALUACION ($)	GASTO ($)	AMORTIZACION	INTERÉS
CAPITAL FUNDIARIO	TIERRA (RF 5%)	Tierra (3500 m2)	$875.000,00	$17.500,00	$0,00	$43.750,00
	MEJ. ORD (IF 6%)	Oficina y deposito 54 m2	$270.000,00	$5.400,00	$13.500,00	$16.200,00
		Tanque tricapa de 1500 lt	$5.300,00	$106,00	$530,00	$318,00
		Tanque tricapa de 1000 lt	$3.100,00	$62,00	$310,00	$186,00
		Alambrado perimetral tejido chanchero 100 m	$3.500,00	$70,00	$140,00	$210,00
		Media sombra (27m2)	$245,00	$4,90	$98,00	$14,70
		Broche prensa tela (100 unidades)	$150,00	$3,00	$60,00	$9,00
		8 postes eucalyptus de 3 m largo	$1.200,00	$24,00	$96,00	$72,00
		Plastico silo bolsa 180 m2 para cantero	$1.000,00	$20,00	$400,00	$60,00
		Estacas (224)	$1.120,00	$22,40	$112,00	$67,20
		30 torniquetes del 8 (para caneteros)	$1.200,00	$24,00	$240,00	$72,00
		Hilo de fardo para las estacas canteros de 1x16 (7canteros) 238m lineales	$360,00	$7,20	$180,00	$21,60
CAPITAL DE EXPLOTACIÓN	CAP. EXPL. FIJO (IM 8%)	Bomba de agua 1/2 Hp	$3.500,00	$70,00	$700,00	$280,00
		carretilla	$600,00	$12,00	$400,00	$48,00
		Manguera para riego 3/4 (50mt)	$2.275,00	$45,50	$1.137,50	$182,00
		rastrillo	$375,00	$7,50	$187,50	$30,00
		tijera de podar de mano	$540,00	$10,80	$270,00	$43,20
		palas (3)	$2.400,00	$48,00	$1.200,00	$192,00
		Azada	$500,00	$10,00	$250,00	$40,00
		zaranda	$150,00	$3,00	$75,00	$12,00
		perforadora de papel	$130,00	$2,60	$65,00	$10,40
		Mochila pulv.(20 lt)	$1.400,00	$28,00	$560,00	$112,00
		Ph metro digital	$1.800,00	$36,00	$900,00	$144,00
		170 cajones tomateros	$8.500,00	$170,00	$4.250,00	$680,00
		computadora personal, impresora y escritorio	$10.000,00	$200,00	$6.666,67	$800,00
	CAP. EXPL. CIRCULANTE (IC 12%)	Semillas certificadas (2,5kg)	$17.500,00	$17.500,00		$2.100,00
		Sustrato 20m3 (6 viajes)	$4.200,00	$4.200,00		$504,00
		Perlita 7 bolsas	$700,00	$700,00		$84,00
		Env. de polietileno 6x18x100 mic (40000)	$8.000,00	$8.000,00		$960,00
		Herbicida	$250,00	$250,00		$30,00
		corrector de ph + coadyuvante	$350,00	$350,00		$42,00
		Fertilizante foliar 1 lt	$500,00	$500,00		$60,00
		Funguicida 1 litro CARBENDAZIM	$380,00	$380,00		$45,60
		Guante de goma	$150,00	$150,00		$18,00
		Barbijo	$33,00	$33,00		$3,96
		Insecticida 1 litro CLORPIRIFOS	$320,00	$320,00		$38,40
		Energia Eléctrica (200 primer mes,100 segundo mes 50 3 er mes,	$350,00	$350,00		$42,00
		Personal administrativo	$39.021,50	$39.021,50		$4.682,58
		Personal operario	$75.246,50	$75.246,50		$9.029,58
		CARGAS SOCIALES	$68.560,80	$68.560,80		$8.227,30
		Gastos administrativos (INASE-SENASA) 2 JORNALES	$966,00	$966,00		$115,92

		Impuestos varios (IIBB, monotributo)	$19.691,00	$19.691,00		$2.362,92
SUBTOTAL			$1.430.563,80	$260.105,70	$32.327,67	$91.900,36
TOTAL (G+A+I)			**$384.333,72**			
PERSONAL: 3 personas 25 días (2 personas 20 días para llenado de envases y 1 persona 5 días para la siembra). 1 persona 7 meses (1/2 jornal) mantenimiento y cuidado (poda riego fumigación)						

									PRECIO DÓLAR	
TABLA SLARIAL FOSIF		**CM ($/PLANTIN)**	**$9,61**	**$13,72**	Ingreso total	$548.800,00		CT (US$)	$11.943
PEON GERAL/ DIA	$483,00	**BT**	**$164.466,28**		IIBB	$16.464,00		CM plantin(US$)	$0,30
PEON GERAL/MES	$11.149,00							**Venta plantin (US$)**	**$0,43**
								valuacion(US)	$44.455
FUENTES CONSULTADA:	FERRETERIA COLO, CHEJAIA S.A, INMOBILIARIA SALTO			**Cotización dólar al 28-08-2018**		$32,18		Ganancia/pl (US$)	$0,13
BIBLIOGRAFIA:	FRANK, CALCULO DE COSTOS FORESTALES (RENOVFI) DEPRECIACION EL COSTO INVISIBLE(EMORINGIO)							Beneficio total(US$)	$5.111

Germinación, respiración y estrés oxidativo en semillas de *Schinopsis lorentzii* (Griseb.) Engl. tratadas con glifosato

Meloni, Diego Ariel[1,2]; Nieva, María José[2] y Moura Silva, Diolina[3]

(1) Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina. dmeloniunse@gmail.com
(2) Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina marijo_nieva@hotmail.com
(3) Departamento de Biología Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil. diu@zaz.com.br

RESUMEN

El Chaco Occidental fue sometido a una intensa deforestación, y el bosque nativo fue reemplazado por cultivos agrícolas, en los que se aplican altas dosis de glifosato. Se desconoce el impacto de este herbicida sobre la germinación de las especies nativas de la región. Este trabajo tuvo como objetivo determinar el efecto del glifosato sobre la germinación de *S. lorentzii,* y el metabolismo de dicho proceso. Las semillas se colocaron entre toallas de papel, humedecidas con soluciones de glifosato de 0, 5, 10, 15, 20, 25 y 30 mg i.a. l^{-1}. Las semillas se incubaron en cámara de crecimiento, a 25 °C y 12 h de fotoperiodo. Se determinó el porcentaje de germinación, y se cuantificó la respiración y las concentraciones de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y malondialdehido (MDA). El glifosato inhibió la germinación a partir de 10 mg i.a. l^{-1}. A partir de dicha dosis se observó disminución en la respiración, y aumento en las concentraciones de H_2O_2 y MDA. Se concluye que el glifosato inhibe la germinación de semillas de *S. lorentzii*. Esta inhibición está asociada a la inhibición de la respiración, y al estrés oxidativo producido por la acumulación de peróxido de hidrógeno.

ABSTRACT

The Western Chaco was subjected to intense deforestation, and the native forest was replaced by agricultural crops, in which high doses of glyphosate are applied. The impact of this herbicide on the germination of native species is unknown. This work aimed to determine the effect of glyphosate on the germination of *S. lorentzii*, and the metabolism of this process. The seeds were placed between paper towels, moistened with glyphosate solutions of 0, 5, 10, 15, 20, 25 and 30 mg a.i. l^{-1}. The seeds were incubated in growth chamber at 25 °C and a 12 h photoperiod. The germination percentage was determined, and respiration and concentrations of hydrogen peroxide (H_2O_2) and malondialdehyde (MDA) were quantified. Glyphosate inhibited germination from 10 m ai. l^{-1}. From this dose, a decrease in respiration was observed, and an increase in the concentrations of H_2O_2 and MDA. It is concluded that glyphosate inhibits the germination of *S. lorentzii* seeds. This inhibition is associated with the inhibition of respiration and oxidative stress, produced by the accumulation of hydrogen peroxide.

Palabras claves: agroquímicos – ecofisiología – estrés abiótico – Chaco Occidental

Keywords: agrochemicals – ecophysiology – abiotic stress – Western Chaco

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la región fitogeográfica del Chaco Occidental, fue sometida a una intensa deforestación. El bosque nativo fue sustituido por cultivos agrícolas, en cuyo manejo se utilizan altas dosis de glifosato (Cáceres et al., 2015).

El glifosato, N-(fosfonometil) glicina, es un herbicida sistémico y no selectivo. Actúa sobre especies anuales y perennes, monocotiledóneas y dicotiledóneas, por lo que es utilizado como herbicida de amplio espectro, tanto en cultivos agrícolas como en plantaciones forestales (Mendes et al., 2012). Inhibe a la enzima 5-enolpiruvil-shikimato-3-fosfato sintasa (EPSPS), responsable de la síntesis del corismato. Dicho compuesto es un intermediario en la ruta de síntesis de aminoácidos aromáticos: fenilalanina, tirosina y triptófano (Alcántara de la Cruz et al., 2016).

Los herbicidas pueden ser transportados por el viento hacia el bosque nativo circundante, alcanzando de este modo a otras áreas. Este fenómeno, denominado deriva, puede producir la muerte de especies sensibles, y poner en riesgo la biodiversidad de dichos ecosistemas (Dupont et al., 2018).

El glifosato produce toxicidad severa o moderada en especies nativas del Chaco Occidental (Ferreira et al., 2017). En plántulas de algarrobo negro (*Prosopis nigra* G.), produjo una reducción del crecimiento, debido a una inhibición en la fotosíntesis. Esta respuesta se debió al cierre estomático y a una disminución en la tasa de transporte de electrones, durante la etapa fotoquímica (Meloni y Bolzón, 2021).

La germinación es una etapa crítica para el estabelecimiento de las plántulas en ecosistemas forestales. No existen referencias sobre el efecto del glifosato en la germinación de especies nativas del Chaco Occidental. Por otra parte, los resultados obtenidos en otras especies son contradictorios. Gomes et al. (2017a) reportaron que el glifosato inhibió la germinación de *Dimorphandra wilsonii*, una especie arbórea nativa del "Cerrado" brasileño. Por otra parte, el glifosato no afectó el porcentaje de germinación de maíz, pero disminuyó la velocidad del proceso (Gomes et al., 2019a, Souza Garcia y Sant'Anna-Santos, 2019).

El glifosato puede producir la acumulación de especies reactivas de oxígeno (ROS), como por ejemplo peróxido de hidrógeno (H_2O_2), radical superóxido ($O_2^{\bullet-}$) y radical hidroxilo ($HO^{\bullet}$). Las ROS participan en la movilización de reservas de las semillas, y en la señalización ante estímulos ambientales. Sin embargo, en altas concentraciones, pueden producir daños severos sobre proteínas, ácidos nucleicos y lípidos de membranas celulares (Meloni y Martínez, 2021).

Quebracho colorado santiagueño (*S. lorentzii*) es una especie arbórea nativa del Chaco Occidental. Posee un fuse recto y cilíndrico de 3 a 7 m de longitud, alcanzando hasta 110 cm de diámetro. A nivel ecofisiológico, se caracteriza por ser mesoxerófila, heliófila, y de crecimiento lento. Se la utiliza en la manufactura de postes, durmientes, vigas, pisos, leña y carbón (Giménez y Moglia, 2003). No existen referencias sobre su grado de tolerancia al glifosato.

Este trabajo tuvo como objetivo determinar el efecto del glifosato sobre la germinación de *S. lorentzii*, y el metabolismo de dicho proceso.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de recolección de semillas

Los frutos de *S. lorentzii* se cosecharon de árboles seleccionados al azar, en la estación experimental del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Santiago del Estero, Argentina (28º 3´ S, 64º 14´ E). La estación experimental posee una superficie de aproximadamente 6 km^2 con distintos tipos de vegetación: bosque nativo, pastizales y arbustales. Se encuentra ubicada en el región fitogegráfica del Chaco Occidental, y presenta un clima subtropical con estación seca. La temperatura media anual es de 26 ºC, y las precipitaciones de 574 mm (Ibáñez Moro et al., 2021).

Ensayos de germinación

Las semillas se extrajeron manualmente, y seleccionaron por tamaño y color uniforme. Posteriormente se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 2,5 %, durante 10 minutos, seguido por tres lavados en agua destilada estéril. Para facilitar la imbibición, se les realizó un corte en el extremo opuesto al embrión, con un alicate. Se colocaron a germinar cuatro lotes de 50 semillas entre toallas de papel, humedecidas con 10 ml de agua destilada (control) o soluciones de glifosato de 5, 10, 15, 20, 25 y 30 mg i.a. l^{-1}, que corresponden a concentraciones frecuentes en suelos agrícolas (Gomes et al., 2017 b) . Se utilizó una sal potásica de glifosato, bajo el nombre comercial de Touchdown® del laboratorio Syngenta, que contiene 506 g i.a. l^{-1}. Las toallas de germinación se enrollaron, cubrieron con bolsas

de polietileno para minimizar las pérdidas de agua por evaporación, y se dispusieron verticalmente en cámara de crecimiento, a 25ºC, con un fotoperíodo de 12 h. Diariamente se registró el número de semillas germinadas. Se consideraron germinadas aquellas semillas en las que emergieron los cotiledones (Meloni et al., 2008).

Mediciones de respiración

Debido a que el tiempo medio de germinación de las semillas fue de ocho días (datos no presentados), las mediciones de respiración y las determinaciones químicas se hicieron 6 días después de haber iniciado los tratamientos. Se colocaron 2 g de semillas en frascos de vidrio de 15 ml, conteniendo 8 ml de buffer HEPES 8 mM, pH 7,2. Se midió el consumo de O_2, mediante un sensor constituido por electrodos de plata y platino (TBR 1025, World Precision Instruments, Sarasota, Florida, USA). Las mediciones se realizaron siguiendo la metodología descripta por Pandey et al. (2019). Los resultados se expresaron en µmol O_2 g^{-1} PF h^{-1}.

Determinaciones químicas

Para extraer el peróxido de hidrógeno, las semillas se congelaron con nitrógeno líquido, y homogeneizaron en mortero con buffer fosfato 100 mM, pH 7,5. Su concentración se cuantificó mediante la técnica de Zhou et al. (1997), utilizando una solución de N-acetil-3,7-dihidroxifenoxazina. La oxidación enzimática de este compuesto, se cuantificó espectrofotométricamente, leyendo absorbancia a 560 nm. Los resultados se expresaron en µmol H_2O_2 g^{-1} PF.

El malondialdehido se extrajo y cuantificó de acuerdo al método descripto por Moldes et al. (2008). Para ello, las semillas se homogenizaron con polivinilpirrolidona 20% y ácido tricloroacético 0,1%. Posteriormente se centrifugó a 10.000 x g durante cinco minutos. La cuantificación se realizó en una mezcla conteniendo una alícuota del sobrenadante, ácido 2-tiobarbitútico 0,5%, y ácido tricloroacético 20%. Luego de incubar en baño termostatizado a 95ºC, durante 20 minutos, la mezcla se enfrió a temperatura ambiente, y se leyó absorbancia a 532 nm. La concentración fue calculada utilizando un coeficiente de absorción de 155 mM^{-1} cm^{-1}. Los resultados se expresaron en µmol g^{-1} PF.

Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado, con cuatro repeticiones. Los datos se analizaron con ANOVA y test de Tukey. Se comprobó la homogeneidad y normalidad de los datos mediante los tests de Shapiro-Wilks, y Levene, respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El glifosato inhibió la germinación de semillas de *S. lorentzii*, a partir de 10 mg i.a. l^{-1} (Figura 1). Esta respuesta se incrementó con el aumento de la dosis, y en las semillas tratadas con 30 mg i.a l^{-1}, la germinación fue de solo 3%.

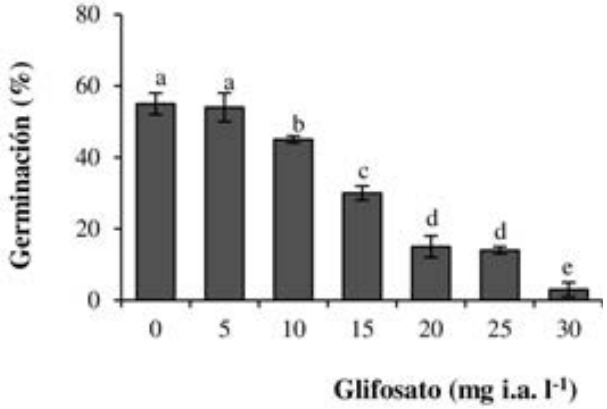


Figura 1: Germinación de semillas de *S. lorentzii* tratadas con dosis crecientes de glifosato. Los valores son medias de cuatro repeticiones. Letras diferentes indican diferencias significativas por el test de Tukey ($P < 0,05$).

El glifosato redujo la respiración de las semillas, siguiendo esta variable la misma tendencia observada en la germinación (Figura 2). La tasa respiratoria se inhibió a partir de 10 mg i.a. l^{-1}, con valores 24% menores que en el testigo. La mayor inhibición de este proceso se observó en las semillas tratadas con 30 mg i.a. l^{-1}, que presentaron una tasa respiratoria 78% inferior que el testigo.

La respiración es un proceso metabólico fundamental para la germinación, ya que produce energía y esqueletos carbonados, que se utilizan en distintas rutas de biosíntesis que intervienen en la mima (Taiz et al., 2017). De este modo la gran sensibilidad de la respiración de semillas *S. lorentzii* al glifosato, determinó su respuesta durante la etapa de germinación.

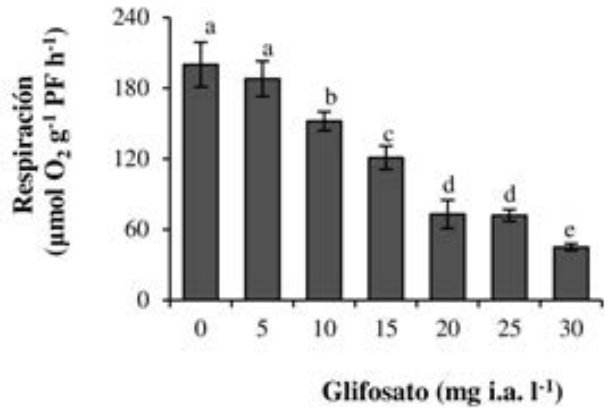


Figura 2: Tasa respiratoria en semillas de *S. lorentzii* tratadas con dosis crecientes de glifosato. Los valores son medias de cuatro repeticiones. Letras diferentes indican diferencias significativas por el test de Tukey (P < 0,05).

El herbicida aumentó significativamente la acumulación de peróxido de hidrógeno en las semillas, a partir de 10 mg i.a. l^{-1} (Figura 3). En dicha dosis, la concentración de peróxido de hidrógeno se duplicó con respecto al testigo. Este efecto fue muy marcado en la dosis de 30 mg i.a. l^{-1}, en la que se observaron concentraciones de peróxido de hidrógeno aproximadamente seis veces mayores que las del testigo.

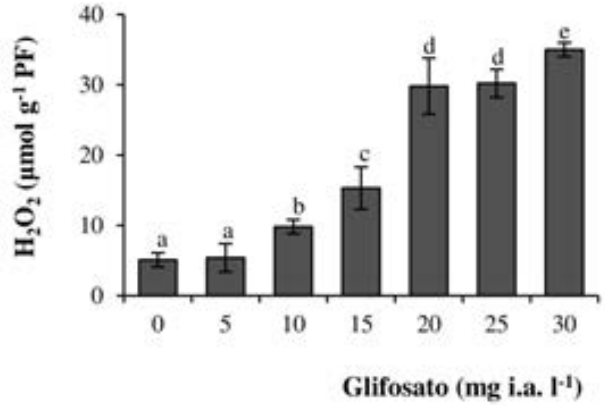


Figura 3: Concentración de peróxido de hidrógeno en semillas de *S. lorentzii* tratadas con dosis crecientes de glifosato. Los valores son medias de cuatro repeticiones. Letras diferentes indican diferencias significativas por el test de Tukey (P < 0,05).

Coincidiendo con la acumulación de peróxido de hidrógeno, el glifosato aumentó la concentración de malondialdehido, a partir de 10 mg i.a. l^{-1} (Figura 4). Las mayores concentraciones se registraron en las dosis de 25 y 30 mg i.a. l^{-1}, que fueron 296 y 419% superiores a las del testigo. Dicho compuesto es el producto de la peroxidación de lípidos, por lo que este resultado indica que el herbicida produjo estrés oxidativo en las semillas de quebracho colorado santiagueño. También indican que estas semillas carecen de un sistema antioxidante eficiente, capaz metabolizar las especies reactivas de oxígeno, tales como el peróxido de hidrógeno. La peroxidación de lípidos puede producir daños irreversibles en las membranas celulares, alterando el metabolismo energético de las células, ya que parte del proceso respiratorio ocurre en la membrana interna mitocondrial (Gomes et al., 20117a).

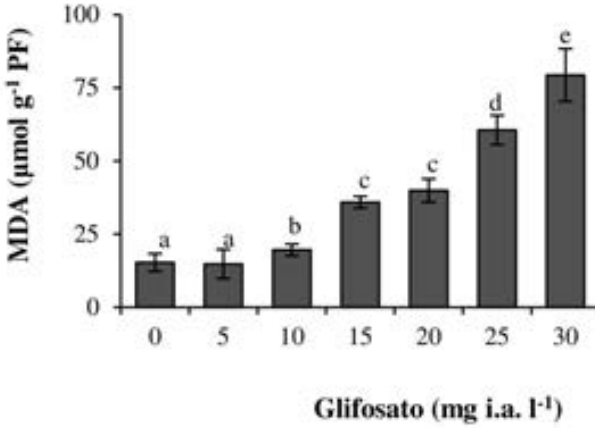


Figura 4: Concentración de malondialdehido en semillas de *S. lorentzii* tratadas con dosis crecientes de glifosato. Los valores son medias de cuatro repeticiones. Letras diferentes indican diferencias significativas por el test de Tukey (P < 0,05).

Los resultados obtenidos en este trabajo, coinciden con los reportados por Gomes et al. (2017b). Estos autores demostraron que los cultivares de soja poseen diferente sensibilidad al glifosato, durante la etapa de germinación. En los cultivares sensibles, la inhibición de la germinación estuvo asociada a una elevada producción de peróxido de hidrógeno, debido a una baja actividad de enzimas antioxidantes. También concuerdan con los resultados reportados en sorgo. En dicha especie, dosis de 24 a 100 mg l^{-1} de glifosato produjeron una reducción del 30% en la germinación, debido a la inhibición de la respiración (Gomes et al., 2019b). Khan et al. (2020) también reportaron inhibición de la germinación de semillas de tomate, a partir de dosis de 30 mg i.a. glifosato l^{-1}. Del mismo modo, Helander et al. (2019) realizaron ensayos en invernáculo, en los que observaron que el glifosato inhibió la germinación de *Brassica rapa* y *Vicia faba*, después del período de seguridad establecido por el fabricante. En *B. rapa* la inhibición fue muy marcada, disminuyendo el porcentaje de germinación y la velocidad del proceso. En *V. faba* solamente disminuyó la velocidad de germinación.

En el suelo, glifosato tiene una vida media de aproximadamente treinta días (Gomes et al., 2017a),

por lo que la acumulación de residuos de este herbicida podría inhibir la germinación en el banco del semillas de ecosistemas nativos. De esta manera, la biodiversidad de los ecosistemas forestales próximos a los cultivos podría verse comprometida (Rezende Silva et al., 2019). Por lo tanto, resulta de interés realizar en el futuro ensayos a campo, para contrastar los resultados con los obtenidos en condiciones de laboratorio. En dichas experiencias también deberá evaluarse el comportamiento de las plántulas.

CONCLUSIONES

El glifosato inhibe la germinación de semillas de *S. lorentzii*. Esta inhibición está asociada a la inhibición de la respiración, y al estrés oxidativo producido por la acumulación de peróxido de hidrógeno.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad Nacional de Santiago del Estero, (CICyT-UNSE), por el financiamiento del proyecto.

REFERENCIAS

Alcántara de la Cruz, R., F. Barro, J.A. Domínguez-Valenzuela, R. Prado, Physiological, morphological and biochemical studies of glyphosate tolerance in Mexican Cologania (*Cologania broussonetii* (Balb.) DC.), *Plant Physiology and Biochemistry*, 98, 72-80, 2016.

Cáceres, D.M, Accumulation by dispossession and socio-environmental conflicts caused by the expansion of agribusiness in Argentina, *Journal of Agrarian Change,* 15, 116-147, 2015.

Dupont, Y.L., B. Strandberg, C. Damgaard, Effects of herbicide and nitrogen fertilizeron non-target plant reproduction and indirect effects on pollination in *Tanacetum vulgare* (Asteraceae), *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 262, 76–82, 2018.

Ferreira, M.F., C. Torres, E. Bracamonte, L. Galetto, Effects of the herbicide glyphosate on non-target plant native species from Chaco forest (Argentina), *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 144, 360-368, 2017.

Giménez, A.M., J.G. Moglia, *Árboles del Chaco Argentino. Guía para el reconocimiento dendrológico.* Facultad de Ciencias Forestales UNSE, Santiago del Estero, Argentina, 2003.

Gomes, M.P., F.V. da Silva Cruz, E.M., Bicalho, F.V. Borges, M.B. Fonseca, P. Juneau, Q.S. Garcia, Effects of glyphosate acid and the glyphosate-commercial formulation (Roundup) on *Dimorphandra wilsonii* seed germination: Interference of seed respiratory metabolism. *Environmental Pollution*, 220, 452-459, 2017a.

Gomes, M, B.H. Monteze, E. Smedbol, F.V. Cruz, M.M. Lucotte, Q.S. García, Glyphosate can decrease germination of glyphosate-resistant soybeans, *Journal of Agricultural and Food Chemistry,* 65, 2279-2286, 2017b.

Gomes, M.P., V.S. Richardi, E.M. Bicalho, D.C. da Rocha, M.A. Navarro-Silva, P. Soffiatti, Q.S. García, B.F. Sant'Anna-Santos, Effects of Ciprofloxacin and Roundup on seed germination and root development of maize, *Science of the Total Environment*, 651, 2671-2678, 2019a.

Gomes, M.P., E.M. Bicalho, F.V.S Cruz, A.M Souza, B.M.R Silva, C.A. Gonçalves, T.R.S. Santos, Q.S. Garcia, Does integrative effects of glyphosate, gibberellin and hydrogen peroxide ameliorate the deleterious effects of the herbicide on sorghum seed through its germination?, *Chemosphere*, 233, 905-912, 2019b.

Helander, M., A. Pauna, K. Saikkonen, I. Saloniemi, Glyphosate residues in soil affect crop plant germination and growth. *Science Reports*, 9, 1-9, 2019.

Ibañez Moro, A.V., S.J. Bravo, N.R. Abdala, F. Borghetti, A.M. Chaib, L. Galetto, Heat shock effects on germination and seed survival of five woody species from the Chaco region, *Flora,* 275, e151751, 2021.

Khan, S., J.L. Zhou, L. Ren, A. Mojiri, Effects of glyphosate on germination, photosynthesis and chloroplast morphology in tomato, *Chemosphere*, 258, 27-35, 2020.

Meloni, D.A., M.R. Gulotta, C.A. Martínez, Salinity tolerance in *Schinopsis quebracho* colorado: seed germination, growth, ion relations and metabolic responses, *Journal of Arid Environments*, 10, 1785-1792, 2008.

Meloni, D. A., G.I. Bolzón, Growth, photosynthesis and oxidative stress in *Prosopis nigra* (Fabaceae) under simulated glyphosate drift, *UNED Research Journal*, 13, e3170, 2021.

Meloni, D.A., C.A. Martínez, 2021, Physiological responses of *Eucalyptus camaldulensis* (Dehnh.) to simulated glyphosate drift, *Biofix Scientific Journal*, 6, 46-53.

Mendes, S., J. Portugal, I. Calha, Prospecção de resistência ao glifosato em populações de *Conyza canadensis*. *Revista de Ciências Agrárias.* 35, 322-328, 2012.

Moldes, C.A., L.O. Medici, O.S. Abrahão, S.M. Sai, R.A. Azevedo, Biochemical responses of glyphosate resistant and susceptible soybean plants exposed to glyphosate, *Acta Physiologiae Plantarum,* 30, 469-479, 2008.

Pandey, S., A. Kumari, M. Shree, V. Kumar, P. Singh, C. Bharadwaj, G. Loake, S. Parida, S. K.

Masakapalli, K. J. Gupta, Nitric oxide accelerates germination via the regulation of respiration in chickpea. *Journal of Experimental Botany*, 70, 4539 – 4555, 2019.

Rezende-Silva, S.L., A.C. Costa, F.H. Dyszy, P.F. Batista, A.J. Crispim-Filho, K.J.T. Nascimento, A.A. Silva, *Pouteria torta* is a remarkable native plant for biomonitoring the glyphosate effects on Cerrado vegetation. *Ecological Indicators*, 102, 497-506, 2019.

Souza Garcia, B.F. Sant'Anna-Santos, Effects of Ciprofloxacin and Roundup on seed germination and root development of maize, *Science of the Total Environment*, 651, 2671-2678, 2019.

Taiz, L, E. Zeiger, I.M. Møller, A. Murphy, Fisiología e desenvolvimento vegetal, Editorial ARTMED, Porto Alegre, Brasil, 2017.

Zhou, M., Z. Diwu, N. Panchuk-Voloshina, R.P. Haugland, A stable nonfluorescent derivative of resorufin for the fluorometric determination of trace hydrogen peroxide: applications in detecting the activity of phagocyte NADPH oxidase and other oxidases, *Analytical Biochemistry*, 253, 162-168, 1997.

Implementación del control de mastitis y sanidad en un tambo caprino de Santiago del Estero. Estudio de caso.

Salinas, Florencia[1]; Leguizamón Carate, Jorge N.[2]; Pece, Nora[1]; Díaz Williams[3]; Frau, Florencia[1].

Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero. mflorsalinas87@hotmail.com.

(1) *Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Santiago del Estero.*

(2) *Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero.*

RESUMEN

La mastitis es una enfermedad recurrente en toda explotación tambera. Si bien la manifestación clínica se diagnostica fácilmente, esto no ocurre con la patología subclínica. La detección de mastitis subclínicas no es implementada en pequeñas explotaciones al suponer un costo adicional. El objetivo del presente trabajo fue determinar la incidencia de mastitis subclínica en un tambo sin control y el efecto de implementar un plan de ordeñe utilizando el California Mastitis Test y tratamientos a los animales afectados. El estudio se realizó en un tambo caprino que cuenta con una majada de 160 cabras que entran en lactación simultáneamente. El trabajo consistió en realizar controles lecheros durante una lactación completa, incluyendo la determinación de mastitis subclínica. En función de los resultados obtenidos, se capacitó al personal en las mejoras necesarias determinando el tratamiento a seguir. Los resultados indicaron la presencia de mastitis subclínica, reduciéndose del 20 al 2% en 12 meses y al 1,5% en 24 meses, con el plan implementado. La mastitis subclínica le generó al productor una pérdida económica del 16%. La implementación del CMT es fácil y económica, lo que permitiría al productor detectar rápidamente la presencia de mastitis subclínica en su majada y actuar en consecuencia.

Palabras claves: Mastitis Subclínica- Productores rurales- CMT- Pérdidas económicas.

ABSTRACT

Mastitis is a recurrent disease in every dairy farm. Although the clinical manifestation is easily diagnosed, this does not occur with subclinical pathology. The detection of subclinical mastitis is not implemented in small farms as it entails an additional cost. The objective of the present work was to determine the incidence of subclinical mastitis in an uncontrolled dairy farm and the effect of implementing a milking plan using the California Mastitis Test and treatments to affected animals. The study was carried out in a goat herd that has a flock of 160 goats that go into lactation simultaneously. The work consisted of performing dairy controls during a complete lactation, including the determination of subclinical mastitis. Based on the results obtained, the personnel were trained in the necessary improvements, determining the treatment to follow. The results indicated the presence of subclinical mastitis, reducing from 20 to 2% in 12 months and to 1.5% in 24 months, with the plan implemented. Subclinical mastitis generated an economic loss of 16% for the producer. The implementation of the CMT is easy and inexpensive, which would allow the producer to quickly detect the presence of subclinical mastitis in his flock and act accordingly.

Keywords: Subclinical mastitis- Rural Producers- CMT- Economic losses.

1. INTRODUCCIÓN

Una de las enfermedades más comunes que se producen en las hembras de cualquier especie animal es la inflamación de la ubre o mastitis causada, principalmente, por un conjunto de microorganismos que proliferan en el interior de los alvéolos que conforman las glándulas mamarias, generando una importante alteración en la composición de la leche (Giboin *et al.,*2019). La mastitis puede clasificarse en clínica (con signos visibles), subclínica (sin signos aparentes) y crónica (ubre improductiva) (Bedotti *et al.,* 2011). Como posibles signos de esta enfermedad se puede nombrar; aumento de temperatura y endurecimiento de la ubre, dolor al tacto, leche con grumos, fétida y posibles coágulos de sangre o pus (Bedotti *et al.,* 2011). Si bien existen diferentes fármacos para tratar dicha patología, la misma se considera muy difícil de erradicar, por lo tanto, siempre se aconseja su pre fácilmente detectable por la sintomatología y puede ser rápidamente tratada. La mastitis crónica (MCr) es clasificada una vez que los síntomas progresaron sin tratamiento alguno, originando una alteración interna de los alveolos que conlleva a la improductividad de la ubre (Frau *et al.,* 2018; Giboin *et al.,*2019). En cambio, la mastitis subclínica (MSc) no presenta signos visibles, pero la calidad de la leche se ve altamente afectada (Suárez, *et al.,* 2014). Esta enfermedad produce un gran impacto negativo en la economía de cualquier establecimiento, al provocar el descarte de leche por parte de las industrias, gastos en insumos y servicios veterinarios, además, de las pérdidas de hembras lactantes que suelen quedar improductivas una vez transcurrida la enfermedad (Bedotti *et al.,* 2011; Frau *et al.,* 2018). Existen diversos análisis de laboratorio para detectar y confirmar la enfermedad, como el conteo de células somáticas (CCS) y la determinación de *Staphylococcus* coagulasa positiva. El conteo de células somáticas es un método indirecto que detecta la estrecha relación que existe entre los leucocitos y los microorganismos patógenos presentes en la muestra (Martínez, *et al.,* 2018). En lo que respecta al recuento microbiológico, la determinación de *Staphylococcus* tiene valor sanitario, ya que son causa de mastitis en las cabras y pueden provocar enfermedades o intoxicaciones en humanos. *Staphylococcus aureus* (coagulasa positiva) produce una exotoxina que causa serios trastornos intestinales en humanos; al ser termorresistente no se destruye durante la pasteurización (Frau, 2011). Además, California Mastitis Test (CMT) es considerado una técnica de campo fácil, económica y sencilla de realizar. El productor confirmará la positividad de la muestra (Frau, *et al.,* 2018; 2019) mediante la mezcla de leche obtenida de la ubre de la cabra con una medida del antígeno. La reacción química se lleva a cabo en minutos y consisten en el aglutinamiento con los microorganismos patógenos presentes en la leche, que se visualiza como la formación de un gel. El control lechero es una práctica de rutina que debería realizarse periódicamente en todo tambo caprino, ya que permite estimar la producción total del establecimiento, realizar manejos sanitarios en las hembras y aplicar el CMT para evaluar la calidad de la leche (Frau *et al.,* 2019). Lamentablemente, en pequeños tambos de producción caprina, no se aplica, ya sea por desconocimiento o suposición de la necesidad de una gran inversión económica (Frau *et al.,* 2019). Debido a que la mastitis subclínica es una problemática diaria en la producción caprina de pequeños tamberos de Santiago del Estero, el objetivo del presente trabajo fue determinar la incidencia de mastitis subclínica en un tambo sin control y el efecto de la implementación de un plan de ordeñe efectuando el California Mastitis Test y el tratamiento a los animales afectados.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo realizado fue dividido en dos etapas. En una primera etapa se realizaron controles lecheros y de mastitis durante una lactación completa, incluyendo la determinación de mastitis subclínica. En función de los resultados obtenidos, se capacitó a los encargados del ordeñe en las mejoras necesarias y se determinó el tratamiento adecuado para cada animal afectado. En la segunda etapa, se dejó trabajar a los productores sin asesoramiento técnico, para retomar el trabajo un año después, realizando el control lechero y de mastitis a fin de evaluar los resultados finales.

Características del establecimiento y la majada general: El trabajo se realizó en un tambo caprino ubicado en la localidad El Polear, La Banda, Santiago del Estero, que forma parte del sistema de Agricultura Familiar. El establecimiento cuenta con una majada de 160 animales aproximadamente. Las razas que predominan son propias de la región, donde fenotípicamente se pueden describir animales criollos (47%) y cruzamientos con Saanen (7%) y Anglo Nubian (46%) (Salinas, *et al.,*2017). Los animales son alimentados a monte con pasturas naturales de la zona y al momento del ordeñe se le ofrece un suplemento alimenticio conformado por maíz molido y una fracción de fardo de alfalfa. Del total de la majada entran en lactación 60 cabras por período, ya que el productor escala las pariciones a efectos de tener 3 tandas en parición/año. Se realizan ordeñes manuales por la mañana y con la leche obtenida se elaboran quesos que son vendidos en el

mismo establecimiento, ferias y enviados a Buenos Aires.

Control lechero: El control se realizó siguiendo la metodología A4 (ICAR, 2003; Manual de Procedimientos del Sistema de Control Lechero), que consiste en el pesaje de la leche producida por cada hembra del tambo con un intervalo de 28 a 34 días. Se obtuvo de manera aséptica una muestra del pool total de leche obtenida para determinaciones microbiológicas.

Control de mastitis: El control de mastitis se realizó una vez por mes siguiendo la metodología de la prueba de mastitis (CMT) en cada animal previamente al ordeñe (Suárez, *et al.,* 2014). Se procedió a tomar 1 ml de leche luego del despunte, y exponerla a 1 ml del antígeno del CMT. Se dejó actuar unos minutos y luego se evaluó la formación del aglutinamiento o gelificación de la muestra. En caso de no observar cambio alguno, la muestra se clasificó como negativa, se procedió a pesar en la balanza el total producido por la hembra y luego se volcó al recipiente de recolección general. Si la muestra fue clasificada como positiva (al producirse gelificación de la misma al contacto con el reactivo) se obtuvo una muestra para su análisis, y la leche pesada fue descartada. El animal se identificó como positivo.

Animales positivos: Una vez identificadas las hembras positivas, estas se mantuvieron en ordeñe, pero la producción total de leche fue descartada durante el período de tratamiento. Al finalizar dicha etapa, se repitió el control con el CMT para verificar la efectividad del tratamiento y eliminación de la mastitis subclínica.

Análisis microbiológicos: Se realizó el control de *Staphylococcus* en el pool de leche obtenida, empleando medios rápidos de detección.

Preparación de las muestras: Se realizó según la técnica descripta en FIL-IDF 122C:1996 (FIL-IDF. 1996). Luego de agitar y mezclar la leche, se tomó 1 ml de la muestra a analizar con pipeta automática estéril y se agregó 9 ml de solución salina estéril. Se aplicó el método de diluciones sucesivas hasta obtener la muestra para el conteo de microorganismos a analizar.

Detección de Staphylococcus coagulasa positiva:
Se realizó utilizando placas con medio deshidratado (NISSUI Pharmaceutical Co. Ltd., Tokyo, Japan) y se incubó durante 24 ± 2 horas a 37 ± 1°C siguiendo las instrucciones del fabricante.

Pérdidas económicas: Las pérdidas económicas se calcularon en base al precio de venta de la leche que efectúa el productor.

$$\%PÉRDIDA(Kg) = \frac{Leche\ Descartada\ (Kg)}{Total\ de\ leche\ obtenida\ (Kg)} x100$$

$$Perdidas(U\$S) = Leche\ descartada\ (L)\ x\ Precio\ de\ venta\ x\ Valor\ del\ dola$$

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

3.1 *Resultados de la primera etapa*

Control de Mastitis:
Durante la primera etapa de control lechero se identificó la falta del sellado de pezones durante el ordeñe. La ausencia de este paso en la rutina es crucial, ya que el canal del pezón puede permanecer abierto unos minutos, motivando el ingreso de microorganismos al interior de la ubre, proliferando y ocasionando mastitis en el rebaño (Martínez, *et al.,* 2018).
En la Tabla 1 se muestra el porcentaje de hembras positivas al test de CMT. Puede observarse que durante todos los meses se obtuvieron animales positivos, con una tendencia ascendente. Es decir, que la mastitis subclínica se encuentra "oculta" sin producir alteraciones en la leche o en el animal, pero ocasionando pérdidas productivas y de calidad.
En la misma tabla puede observarse que todas las muestras fueron positivas para *Staphylococcus* coagulasa positiva con elevados recuentos. En otros estudios realizados en la provincia, en tambos de similares características al presentado en este estudio, se detectaron más del 70% de muestras positivas del total analizado (Frau, 2011).

Mes de Control	Hembras con MSc (%)	*Staphylococcus* coagulasa positiva (logUFC/mL)
1	16,7	1,41
2	18,2	1,46
3	20,0	1,51
4	13,0	1,32
5	16,0	1,41
6	20,0	1,51

Tabla 1. Control de cabras positivas al CMT.

Al comparar los valores del conteo de *Staphylococcus* con el porcentaje de muestras con resultados positivos para mastitis, es esperable obtener valore elevados de

Staphylococcus coagulasa positiva puesto que es el agente principal en todas las mastitis subclínicas de una majada, con una participación del 5% al 30% (Martínez, *et al.,* 2018).

Estos resultados indican la necesidad de implementar el control de mastitis de manera regular en los tambos caprinos.

Si bien, *Staphylococcus* se elimina durante el tratamiento térmico de la leche, la presencia de *Staphylococcus* coagulasa positiva puede indicar un riesgo potencial para la salud, ya que la bacteria produce una toxina termoestable, que no se destruye en la pasteurización. Por lo tanto, es necesario reducir al máximo posible su presencia en la leche cruda (Frau, 2011).

Toda la leche detectada proveniente de animales con mastitis debe ser descartada, ya que su consumo o empleo en la elaboración de quesos frescos puede significar un peligro para el consumidor. En la Tabla 2 se muestran las pérdidas económicas ocasionadas por el descarte de leche derivada de cabras con mastitis subclínica.

Es importante que los productores observen económicamente en números el impacto de la enfermedad, y modificar sus prácticas mejorando las condiciones de ordeñe.

Los resultados se expresan en la moneda dólar (U$S) a efectos de mostrar la real incidencia. Teniendo en cuenta que el estudio se realizó en pequeños productores, tener pérdidas que oscilan entre el 10 y el 20% resulta de gran impacto económico en el establecimiento.

Control	Leche producida (Kg)	Leche descartada (Kg)	% pérdida (Kg)	Pérdida económica (U$S)
1	37,03	4,01	10,83	3,52
2	39,97	6	15	5,26
3	63,61	10,55	16,59	9,25
4	60,21	6	9,97	8,74
5	58,75	6	10,21	8,96
6	45,78	9,33	20,38	9,25

Tabla 2. Pérdida económica originada por la eliminación de leche contaminada

Durante esta etapa de muestreo no se observaron cuadros de mastitis clínicas con signos visibles, pero sí positividad en la detección de mastitis subclínicas, por lo que otorga gran importancia la utilización del Test. Coincidiendo con Giboin *et al.,* (2019) esto permitió demostrarle al productor las mermas en producción que ocurrían en su establecimiento de manera "silenciosa".

Plan de ordeñe Implementado: De acuerdo a los resultados obtenidos en la primera etapa se implementó un plan para la disminución de mastitis subclínica en el rebaño. El mismo se basó en la capacitación en Buenas Prácticas de Ordeñe (BPO) para la concientización de la importancia de una correcta rutina de ordeñe implementando el sellado de pezones, el uso de material descartable y el tratamiento de los animales infectados con antibiótico. Se describe a continuación un resúmen del plan implementado:

Rutina de ordeñe

a. Correcto lavado de manos antes de comenzar el ordeñe y enjuague entre animales.
b. Limpieza de la ubre con agua con agregado de cloro y secado con papel descartable. Iniciar el ordeñe con pezones secos.
c. Despunte y observación de la leche. Si se observan coágulos, sangre o pus la leche debe ser descartada.
d. Ordeñe manual suave a fin de no generar molestias en las cabras, pero logrando el vaciado completo de la ubre.
e. Los animales deben estar ubicados en tarimas de modo que la ubre esté a la altura de los ojos del ordeñador. De este modo se detectan mejor los cambios en las glándulas tales como enrojecimiento, temperatura, etc.
f. La leche obtenida debe ser inmediatamente refrigerada o pasteurizada. Al finalizar el ordeñe de cada cabra, se debe colocar un desinfectante (Iodopoviona) en todo el pezón.
g. Realizar el control de mastitis empleando CMT una vez al mes.

Tratamiento de los animales

Para el tratamiento de los animales se aplicó el siguiente esquema:

a. Oxitetraciclina 3 ml cada 12 horas por día, durante tres días seguidos. Finalizado el tratamiento, realizar nuevamente CMT para determinar si la patología ha sido erradicada. Si el resultado obtenido es negativo (no se detecta mastitis) reingresa al ordeñe; si es positivo se repite el tratamiento. La leche debe descartarse por tres días posteriores al resultado negativo, a fin de evitar presencia de antibiótico en la misma.
b. Si luego de dos ciclos de aplicación con antibióticos persiste la mastitis, aplicar pomo intramamario de liberación continua de antibiótico y proceder al secado de la ubre.
d. Luego de la aplicación del pomo intramamario, retirar las hembras del plantel y destinarla solo a la función de "madres", es decir, utilizar la leche para consumo de los cabritos.

Con respecto a la mastitis subclínica, algunos autores indican que, ante la persistencia de la enfermedad, el animal debe ser eliminado del plantel (Suárez, 1996), sin el empleo de pomos intramamarios. Esto es muy difícil de implementar en pequeños productores puesto que si la cabra produce leche no será eliminada del establecimiento. En este estudio se comprobó que para productores rurales es eficiente continuar el tratamiento durante un tiempo prolongado. Se observó que del total de cabras con mastitis recurrente (8 animales) sólo una hembra no respondió al tratamiento inyectable e intramamario y fue separada del plantel.

3.2 *Resultados en la segunda etapa*

Luego de la implementación del Plan diseñado, se dejó trabajar al productor y su personal sin seguimiento y se retornó al predio a realizar controles de mastitis a los 12 y 24 meses, comprobándose que se logró disminuir el porcentaje de cabras afectadas al 2% en 12 meses y al 1,5 (correspondiente a un animal) a los 24 meses.

Los resultados demuestran la efectividad del plan desarrollado, tanto en la capacitación sobre BPO como en el diseño de estrategia (rutina de ordeñe, control de mastitis y tratamiento con antibiótico). Se observa que la implementación de CMT es fácil de realizar para los productores ya que el costo del reactivo es bajo y su adquisición sencilla.

La mejora en la calidad de leche en lo referente a la presencia de mastitis subclínica influye en la calidad de leche y, por lo tanto, tiene un beneficio económico de gran impacto en el productor.

4. CONCLUSIONES

De este trabajo se puede deducir la gran utilidad que tiene realizar controles lecheros incluyendo el test de detección de mastitis en los tambos caprinos, al menos una vez por mes. Si bien no es una práctica empleada en tambos de pequeños productores, ya sea por desinformación, inexperiencia o considerar un alto costo económico en insumos y capacitación, los resultados de este trabajo demuestran su eficacia. De esta manera el productor puede detectar rápidamente la presencia de mastitis subclínica en su majada y actuar de manera tal, que la hembra afectada no sea eliminada del rodeo por cuadros de mastitis crónicos agravados. A su vez, el control lechero permite mejorar la productividad de los tambos y obtener leche de excelente calidad, por lo tanto, se asegura la elaboración de productos seguros para los consumidores. El Test en cuestión, es un producto que se encuentra disponible en veterinarias. Es económico, ya que se utiliza 1 ml por animal, por lo que, un frasco de 1litro rinde 1000 mediciones y, además, es sencillo de realizar por parte del productor. Si bien es una técnica subjetiva, es de gran utilidad en pequeñas explotaciones que no pueden acceder a los costosos exámenes de calidad. Resulta fundamental no solo el acompañamiento técnico al productor, sino la capacitación que les permita actuar con autonomía, entendiendo el por qué y para qué sirven estas acciones.

5. AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen la desinteresada colaboración y participación del productor Francisco González y su personal, facilitando las tareas como toma de muestras y aplicación de tratamientos en animales positivos. Como también, las Instituciones de la UNSE (Universidad Nacional de Santiago del Estero) y la Planta Piloto del Parque Industrial, donde se desarrollaron los análisis de laboratorio.

6. REFERENCIAS

Bedotti, D., Rossanigo, C. Manual de reconocimiento de enfermedades del caprino. 2011. *https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/56677668/ENFERMEDADES_CAPRINOS-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1626450298&Signature=FBLHpNIw2SjK~CUNsTBYA194DVyInUMglo-64I5JAzcAOOZV25nsltMQv6iauceoeqa73Ah9qVPO4Ya5BbcVrqbWCer-2aATZu-IutfiFzcgclH8-MKlj8pKZ5nRTYpCDfcOAWMkGyL-hs-fG0dbWaoO7UvNdGpObCAqT4D4z~Odr8CqDoSkhmcfKWCwOUl-QeJp6G-FB3-eAcME1NRKhaomiD1HLtyasFjbvHJq2AzWoaehlC9RUBT8p6zdA0WcF64DYLRz9yJjdYt0k1BjsMCN6aq7rL0lOKCsspd2ye3naaygcAnFuk290w9DYPEDf6g5O1n3pjrDNZxeBiYqJ3g__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA* 16.7.2021.

FIL-IDF. 1996. Preparation of samples and Dilutions for Microbiological Examination, Standard FIL-IDF 122C. Brussels, Belgium: International Dairy Federation. *https://fil-idf.org/date/1996/.* 16.7.2021.

Frau, F. Desarrollo de quesos untables de cabra usando fermentos lácticos autóctonos, como estrategia tecnológica para la cuenca caprina de Santiago del Estero. 2011. Tesis Doctoral. Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Santiago del Estero, 2011.

Frau, F., Salinas, F., Leguizamón Carate, J. N. Manejo

de majadas caprinas lecheras y rutina de ordeñe para pequeños productores: guía de aplicación de buenas prácticas. - 1a ed. Santiago del Estero. 2018. Libro digital, PDF - Serie de Guías para la Agricultura Familiar. Archivo Digital: descarga ISBN 978-987-778-439-8

Frau, F., Leguizamón Carate, J. N., Salinas, F., Pece, N. Importancia del control lechero en un pequeño establecimiento lácteo caprino. CODINOA. 2019. *https://www.facet.unt.edu.ar/wp-content/uploads/2020/11/01-Libro-de-Resumenes-de-las-XIV-Jornadas-V14-1.pdf.* 16.7.2021.

Giboin, G., Stanchi, N., Mestorino, N. La Mastitis Subclínica en cabras lecheras, uso de antibióticos e implicancias en la salud públca y producción. Revisión bibliográfica. 2019. *http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/118215.* 16.7.2021.

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. *file:///C:/Users/Florencia/Desktop/Disco%20Flor/UNSE/CLASES/Alumnos/PPS/Gabriel%20Subelza/inta_lecheria_caprina%20Suarez.pdf* 16.7.2021.

ICAR. 2003. International Committee for Animal Recording, Guidelines approved by the General Assembly held in Interlaken, Switzerland. 19: 39, 19 – 39.

Salinas, F., Leguizamón Carate, J. N., Roldán, D., Albanesi, A., Frau, F. Estudio de la majada en una pequeña explotación lechera caprina. CODINOA. 2019. *http://jornadas2017.blogspot.com/p/revista.html.* 16.7.2021.

Suarez, V.H., Martinez, G.M., Gianre, V., Calvinho, L., Rachoski, A., Chavez, M., Salatin, A., Orozco, S., Sanchez, V., Bertoni, E. Relaciones entre el recuento de células somáticas, test de mastitis California, conductividad eléctrica y el diagnóstico de mastitis subclínicas en cabras lecheras. 2014. *https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86431785009.* 16.7.2021.

Manual de Procedimientos del Sistema de Control Lechero. *https://www.ocla.org.ar/contents/news/details/13361354-manual-de-procedimientos-del-sistema-de-control-lechero* 16.7.2021.

Mejora del secado convencional de zanahoria por aire caliente con pretratamiento de microondas

Muñoz, María V.[1]; Kvapil, María F.[1]; Iturriaga, Laura B.[1]

(1) Centro de Investigación en Biofísica Aplicada y Alimentos (CIBAAL), Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero. mvirginiam12@gmail.com, florykvapil@hotmail.com, laura.iturriaga@gmail.com

RESUMEN

Se deshidrataron rodajas de zanahoria utilizando dos métodos de secado: aire caliente (SC) (secado convectivo convencional) y microondas como tratamiento previo a la aplicación de aire (SMC). Los tratamientos de secado al aire se realizaron a dos temperaturas diferentes: 60 y 80 °C manteniendo la velocidad de aire constante. Con respecto al tratamiento con microondas se utilizó la máxima potencia del dispositivo (1180 W) hasta alcanzar una pérdida de peso adecuada y luego se concluyó el secado siguiendo las mismas condiciones de secado convectivo. Se obtuvieron las curvas de cinética de secado correspondientes para cada tratamiento aplicado y se compararon. Además, se determinó la rehidratación del producto final como propiedad física. Las rodajas de zanahoria deshidratadas con el tratamiento previo de microondas resultaron con menor contenido de humedad en un menor tiempo y mayor potencial de rehidratación en comparación con las obtenidas mediante deshidratación por convección.

ABSTRACT

Carrot slices were dehydrated using two drying methods: hot air (SC) (conventional convective drying) and microwave as a pre-treatment to the application of air (SMC). The air drying treatments were carried out at two different temperatures: 60 and 80 °C, keeping the air speed constant. In regard to the microwave treatment, the maximum power of the device (1180 W) was used until an adequate weight loss was achieved and then the drying was concluded following the same convective drying conditions. The appropriate drying kinetic curves were obtained for each applied treatment and compared. In addition, the rehydration of the final product was determined as a physical property. Carrot slices dehydrated with the microwave pre-treatment resulted in lower moisture content in a shorter time and higher rehydration potential compared to those obtained by convection dehydration.

Palabras claves: zanahoria – deshidratación – microondas

Keywords: carrot – dehydration – microwave

1 INTRODUCCIÓN

Actualmente, la deshidratación de matrices vegetales representa un incentivo económico. Es por esta razón, que uno de los mayores desafíos es encontrar métodos eficientes con costos de procesamiento razonables (Rodriguez, 2019). En este sentido, el secado con aire caliente o convectivo es el método convencional, ya que es de aplicación e instalación sencilla y bajo costo. Sin embargo, posee desventajas como pérdidas nutricionales, alteración de color, encogimiento del producto y tiempo de procesamiento prolongado (Nawirska, 2009). De acuerdo con Kumar (2017), la eficiencia energética, la calidad del producto obtenido y el tiempo de secado son los principales factores a tener en cuenta en este proceso. Por ello, resulta necesario utilizar tecnologías alternativas como el secado por microondas, el cual ha ganado mayor interés en estos últimos tiempos ya que permite un calentamiento volumétrico, incrementa la velocidad de secado, mejora la calidad del producto y posee mayor eficiencia energética comparado con el método convectivo convencional.
La rehidratación es un proceso complejo donde se tiende a restaurar las propiedades del material fresco, cuando el alimento deshidratado se pone en contacto con agua. Ya que ésta depende de los pretratamientos y del secado, la rehidratación puede ser tomada como una medida de los daños que el tejido ha sufrido (Lewicki, 1998). Entonces este índice puede ser utilizado como indicador de la calidad de los alimentos deshidratados.
Por otra parte, en la Argentina el cultivo de zanahoria es muy importante ubicándose la provincia de Santiago del Estero en tercer lugar a nivel nacional de producción (Alessandro, 2011). De acuerdo a estos autores, el mayor porcentaje de la hortaliza se destina al consumo en fresco, mientras que solo una pequeña proporción se deshidrata.
Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es aplicar el secado por microondas como etapa previa al método convencional y comparar ambas metodologías con el fin de optimizar el procesamiento de secado de rodajas de zanahoria.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Material vegetal

Se trabajó con zanahorias frescas (*Daucus carota* subsp sativus) obtenidas en el mercado local de Santiago del Estero, las cuales se mantuvieron refrigeradas a 4 ± 0,5 °C hasta su procesamiento. Las hortalizas se lavaron, pelaron y luego se cortaron con un rebanador manteniendo un ángulo de 45° aproximadamente con respecto al plano longitudinal, con el fin de obtener rodajas de mayor diámetro y con un espesor 2,4 ± 0,3 mm. Luego, las muestras se sometieron a dos métodos de secado que se describen a continuación.

2.2 Secado

2.2.1 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 previamente pesadas de zanahoria tanto predeshidratadas en microondas, así como frescas a temperatura de 60 y 80 °C. Se extrajeron y se pesaron muestras cada 15 minutos en la primera hora y luego cada 30 minutos hasta alcanzar el peso constante. Además, se determinaron los sólidos totales del vegetal fresco en estufa de vacío a 70 °C hasta peso constante según se describe en el método 920.151 (AOAC, 1990).
Con los datos obtenidos, se calculó el contenido de humedad (Ec. 1) en base seca de acuerdo con Kroehnke (2018):

$$X_t = \frac{M_t - M_s}{M_s} \qquad (1)$$

donde Mt es la masa de las muestras registradas en el tiempo t y Ms la masa de la muestra seca obtenida a partir del valor de sólidos totales determinado en la muestra fresca.
Por otra parte, la relación de humedad (RH) que representa el contenido de humedad en un tiempo determinado con respecto a su valor inicial (Sadeghi, 2019), fue calculado de acuerdo a la ecuación (2).

$$RH = \frac{X_t - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} \qquad (2)$$

donde X_{eq} y X_0 representan la humedad de equilibrio e inicial de la muestra, respectivamente. Sin embargo, tal como lo indican dichos autores, el valor de humedad en el equilibrio puede ser despreciable comparativamente con el resto de los valores de la ecuación, pudiéndose simplificar la misma de la siguiente manera (Ec. 3):

$$RH = \frac{X_t}{X_0} \qquad (3)$$

Los valores calculados de RH fueron representados en función del tiempo para obtener las curvas de cinética de secado.

2.2.2 Tratamiento por microondas

El tratamiento previo con microondas se realizó en un horno doméstico. Se colocaron las rodajas de zanahoria 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 propuesto anteriormente.

2.3 Rehidratación

El potencial de rehidratación de las muestras secas de los dos tratamientos aplicados se evaluó sumergiendo alrededor de 1 - 2 g de muestra en agua. El ensayo se realizó en un baño termostatizado, manteniendo la temperatura a 30 °C. Se registró el peso de las muestras a los 0, 2, 4, 6, 8 y 10 minutos de inmersión de las mismas. Con los datos obtenidos se calculó la relación de rehidratación (RR) según la ecuación (4).

$$RR = \frac{Mr}{Md} \quad (4)$$

donde Mr y Md corresponden al peso de la zanahoria rehidratada y deshidratada respectivamente (Gamboa-Santos, 2013).

La pendiente de la relación de rehidratación frente al tiempo se definió como la tasa de rehidratación.

3 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 (Di Rienzo, 2019).

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Secado

En la Fig. 1 se presentan las curvas de secado con los métodos aplicados a 60 y 80 °C. Como se observa, RH disminuye exponencialmente con el tiempo de tratamiento cuando se aplica la deshidratación convectiva, presentando el comportamiento típico de secado de vegetales, tal como se observó en zanahoria (Chen, 2018), zapallo (Roongruangsri, 2016) y mango (Mugodo, 2021), entre otros.

En relación a la temperatura de secado, se obtuvo una mayor velocidad de secado a 80°C lo cual se observa por una disminución más pronunciada de la humedad en el tiempo dado por la mayor fuerza impulsora a la transferencia de masa en lo que respecta al método convectivo.

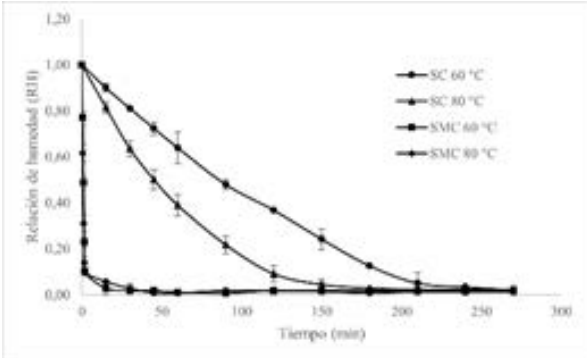


Figura 1. Curvas de secado convectivo (SC) y con microondas (SMC) a 60 y 80 °C.

Suvarnakuta (2005) establecieron como valor final un contenido de humedad de 0,1 (g agua/g materia seca) para cubos de zanahoria de 1 cm^3 y el tiempo resultante fue 420 y 240 minutos cuando utilizaron aire caliente a 60 y 80 °C, respectivamente. Tomando el mismo criterio, el tiempo de secado fue 270 y 210 minutos cuando se utilizaron las mismas temperaturas, sin embargo, la disminución de tiempo puede ser atribuido a la diferencia en la geometría utilizada por dichos autores.

El tratamiento previo con microondas se realizó durante 2 min y la variación de RH con respecto al tiempo fue mucho mayor comparado con el método convectivo (Fig. 1). Al finalizar el tiempo de microondas aplicado, el valor de humedad obtenido fue de 0,60 ± 0,06 (g agua/g materia seca). Luego, se necesitaron 90 minutos de secado convectivo para alcanzar el valor de humedad final fijado, mientras que no se observaron diferencias significativas entre las temperaturas de secado empleadas (datos no mostrados).

Kumar (2017) reportaron que para determinar el ahorro de tiempo (%) que provee la aplicación de microondas, se divide la reducción en el tiempo de secado sobre el tiempo total de secado convectivo. De acuerdo a esto, en este trabajo se logró un ahorro del 66 y 57%, en comparación con el secado con aire caliente a 60 y 80°C, respectivamente. Este comportamiento fue reportado por varios autores cuando aplicaron esta tecnología combinada o previo al secado convencional en diferentes matrices vegetales (Contreras, 2008; Wiset, 2021; Alibas, 2007; entre otros).

4.2 Indice de rehidratación

La capacidad de rehidratación es un parámetro que permite evaluar la calidad del método de secado aplicado. En el presente trabajo los resultados de este índice se muestran en las Fig. 2 (a y b) correspondiente a rodajas de zanahoria deshidratadas a 60 y 80 °C, respectivamente.

Como se puede observar, al inicio hubo una tasa más alta de rehidratación en todos los ensayos realizados. Estos resultados se deben a una estructura menos densa y altamente porosa del tejido vegetal que permite la rápida absorción de agua. Resultados similares fueron observados por Lin (1998) y Nahimana (2011). Por lo tanto, al colocar las muestras deshidratadas en agua, las células tienden a volver a su estado original (Seremet, 2016).

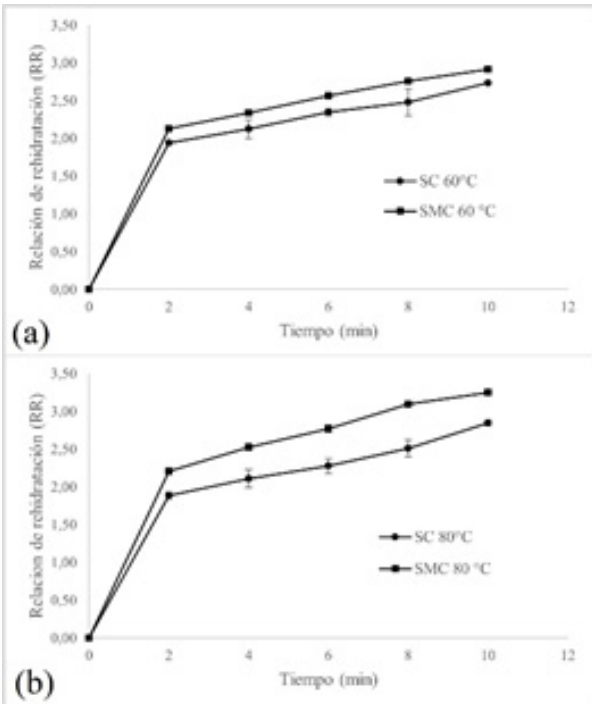


Figura 2. Curva de rehidratación de rodajas de zanahorias deshidratadas por convección y por microondas a 60 (a) y 80 °C (b).

Por otra parte, al comparar los métodos aplicados, las rodajas de zanahoria deshidratadas previamente con microondas muestran una relación de rehidratación más elevada que las deshidratadas solo por el método convectivo, encontrándose una diferencia significativa mayor cuando el tratamiento fue a 80 °C. Este resultado se debe a que el microondas favorece a la formación de productos más porosos aumentando de esta forma su índice de rehidratación. Similares resultados fueron obtenidos por Monteiro (2018) cuando aplicaron microondas con y sin pulsos de vacío a rodajas de zapallo.

Obtener alimentos porosos es uno de los principales usos del microondas, sobre todo cuando se deshidratan vegetales. En este trabajo se obtuvo de manera satisfactoria rodajas de zanahoria cuando se deshidrataron previamente con microondas (Fig. 3). Dicho resultado provee de propiedades texturales que son deseadas por los consumidores, por lo tanto, sería apropiado para desarrollar un snack con este vegetal utilizando la tecnología citada (Lin, 1998).



Figura 3. Zanahorias deshidratadas con pretratamiento de microondas.

5 CONCLUSIÓN

Se obtuvieron las cinéticas de secado y se determinó que con el pretratamiento de microondas se redujo notablemente el tiempo de secado. Por otra parte, las curvas de rehidratación mostraron que el índice de rehidratación es mayor, lo que indica que este tipo de secado mejora la calidad estructural.

Todo esto muestra que la combinación de ambos tipos de secado puede ser utilizado como tecnología para obtener snacks de zanahoria deshidratada con mejores propiedades respecto del método convencional. Actualmente, la tecnología de microondas no se emplea a nivel industrial en la Argentina, lo cual abre las posibilidades de estudio y la promisoria transferencia a la industria en el campo de la deshidratación de vegetales.

Por lo tanto, es necesario realizar estudios físico-químicos y texturales de la materia prima, de los cambios durante el proceso y de vida útil del producto final, a fin de contar con el conocimiento que permita la aplicabilidad y el escalado a nivel industrial.

6 REFERENCIAS

Alessandro, M. S., Gabriel, E. L., Panorama varietal

del cultivo de zanahoria en Argentina, *Horticultura Argentina*, 30, 14-19, 2011.

Alibas, I., Microwave, air and combined microwave–air-drying parameters of pumpkin slices, *LWT – Food Science and Technology*, 40, 1445-1451, 2007.

AOAC, Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, 1990.

Chen, J., Venkitasamy, C., Shen, Q., McHugh, T. H., Zhang, R., Pan, Z., Development of healthy crispy carrot snacks using sequential infrared blanching and hot air drying method, *LWT - Food Science and Technology*, 97, 469-475, 2018.

Contreras C., Martín-Esparza, M. E., Chiralt, A., Martínez-Navarrete, N., Influence of microwave application on convective drying: Effects on drying kinetics, and optical and mechanical properties of apple and strawberry, *Journal of Food Engineering*, 88, 55-64, 2008.

Di Rienzo J. A., Balzarini M., Gonzalez, L., Casanoves, F., Tablada M., Robledo C. W., InfoStat versión 2019. FCA - UNC. *http://www.infostat.com.ar/*. 9.11.21.

Gamboa-Santos, J., Soria, A. C., Villamiel, M., Montilla, A., Quality parameters in convective dehydrated carrots blanched by ultrasound and conventional treatment, *Food Chemistry*, 141, 616-624, 2013.

Kroehnke, J., Szadzińska, J., Stasiak, M., Radziejewska-Kubzdela, E., Biegańska-Marecik, R., Musielak, G., Ultrasound and microwave assisted convective drying of carrots – Process kinetics and product's quality analysis, *Ultrasonics Sonochemistry*, 48, 249-258, 2018.

Kumar, C., Karim, M. A., Microwave-convective drying of food materials: A critical review, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59, 379-394, 2017.

Lewicki, P. P., Some remarks on rehydration of dried foods, *Journal of Food Engineering*, 36, 81-87, 1998.

Lin, T. M., Durance, T. D., Scaman, C. H., Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slices, *Food Research International*, 31, 111-117, 1998.

Monteiro, R. L., Link, J. V., Tribuzi, G., Carciofi, B. A. M., Laurindo, J. B., Microwave vacuum drying and multi-flash drying of pumpkin slices, *Journal of Food Engineering*, 232, 1-10, 2018.

Mugodo, K., Workneh, T. S., The kinetics of thin-layer drying and modelling for mango slices and the influence of differing hot-air drying methods on quality, *Heliyon*, 7, 2021.

Nahimana, H., Zhang, M., Shrinkage and color change during microwave vacuum drying of carrot, *Drying Technology*, 29, 836-847, 2011.

Nawirska, A., Figiel, A., Kucharska, A. Z., Sokół-Łe˛towska, A., Biesiada, A., Drying kinetics and quality parameters of pumpkin slices dehydrated using different methods, *Journal of Food Engineering*, 94, 14-20, 2009.

Rodriguez, A., Bruno, E., Paola, C., Campañone, L., Mascheroni, R. H., Experimental study of dehydration processes of raspberries (*Rubus Idaeus*) with microwave and solar drying, *Food Science and Technology*, 39, 2019.

Roongruangsri, W., Bronlund, J. E., Effect of air-drying temperature on physico-chemical, powder properties and sorption characteristics of pumpkin powders, *International Food Research Journal*, 23, 962-972, 2016.

Sadeghi, E., Movagharnejad, K., Haghighi Asl, A., Parameters optimization and quality evaluation of mechanical properties of infrared radiation thin layer drying of pumpkin samples, *Journal of Food Process Engineering*, 2019.

Seremet, L., Botez, E., Nistor, O.-V., Andronoiu, D.-G.., Mocanu, G.-D., Effect of different drying methods on moisture ratio and rehydration of pumpkin slices, *Food Chemistry*, 195, 104-109, 2016.

Suvarnakuta, P., Devahastin, S., Mujumdar, A. S., Drying kinetics and β-carotene degradation in carrot undergoing different drying processes, *Sensory and Nutritive Qualities of Food*, 70, 250-256, 2005.

Wiset, L., Poomsa-ad, N., Onsaard, W., Drying characteristics and quality evaluation in microwave-assisted hot air drying of cherry tomato, *Engineering and Applied Science Research*, 48, 724-731, 2021.

Permeabilidad de películas de pectina del subproducto del tomate industrializado: efecto del pH y la presencia de glicerol.

Alancay, Matias M.[1]; Mamaní, Ivone M.[1]; Lobo, Manuel O.[1] y Samman, Norma C.[1]

(1) *Centro Interdisciplinario de Investigaciones en Tecnologías y Desarrollo Social para el NOA (CIITED, UNJu-CONICET). Facultad de Ingeniería-Universidad Nacional de Jujuy.*
matiasalancay@yahoo.com, mlobo958@gmail.com; normasamman@gmail.com

RESUMEN

La pectina es un polisacárido empleado como recubrimiento alimentario para la extensión de la vida útil de un alimento. El subproducto del tomate (ST) contiene una pectina soluble en medio acido (PSH), comparable a una pectina comercial, con potencialidad para el uso como película alternativa. El objetivo del trabajo fue estudiar la permeabilidad de películas de PSH formuladas a diferentes pH (3,0 y 7,0) y concentración de glicerol (0 y 1%). Se empleó como muestra control a películas de pectina de alto metoxilo de citrus (PAM). La codificación de las muestras a estudiar fueron: pectina-pH-%glicerol. Los parámetros a determinar fueron: ángulo de contacto (θ), tensión superficial critica (γ_c), trabajo de adhesión (W_a), análisis por FTIR, permeabilidad corregida (Pc) y velocidad de transferencia de vapor de agua (VTVA). Los valores de los parámetros θ, γ_c, W_a y el análisis por FTIR de las películas de PSH mostraron una mayor dependencia del perfil hidrofóbico con la presencia de glicerol, en donde las películas de PSH-3-1 y PSH-7-1 presentaron el perfil más bajo ($p<0,05$). La Pc y VTVA de las películas de PSH mostraron una permeabilidad más alta, respecto al control. Las películas de PSH poseen potencial para su aplicación como recubrimiento alimentario.

Palabras claves: subproducto-pectina-películas-permeabilidad.

ABSTRACT

Pectin is a polysaccharide used as a food coating to extend the shelf life of a food. The tomato by-product (TB) contains an acid soluble tomato pectin (ATP), comparable to a commercial pectin, with potential for use as an alternative film. The objective of the work was to study the permeability of ATP films formulated at different pH (3.0 and 7.0) and glycerol concentration (0 and 1%). Citrus high methoxyl pectin (HMP) films were used as a control sample. The samples was named with next code: pectin-pH-% glycerol. The parameters to be determined were: contact angle (θ), critical surface tension (γc), adhesive work (W_a), FTIR analysis, corrected permeability (cP) and water vapor transfer rate (WVTR). The values of the parameters θ, γc, W_a and the FTIR analysis of the ATP films show a high dependence of the hydrophobic profile with the presence of glycerol, where the ATP-3-1 and ATP-7-1 showed the lowest profile ($p <0.05$). The cP and WVTR of the ATP films provide a higher permeability, with respect to the control. PSH films have potential for application as a food coating.

Keywords: byproduct-pectin-films-permeability.

1. INTRODUCCIÓN

La vida útil de un alimento puede ser prolongada empleando películas de biopolímeros caracterizados por ser biodegradables, ecológicos, comestibles, accesibles, además de ser empleados como vehiculizantes de ingrediente funcionales: agentes antimicrobianos y antioxidantes (recubrimientos activos). Entre los biopolímeros empleados se encuentran aquellos provenientes de fuentes renovables naturales como lípidos, proteínas y polisacáridos (Norcino, 2020).

La pectina, reconocida por su capacidad gelificante y espesante, se encuentra integrada por una estructura principal de unidades de ácido galacturónico, unidos por enlaces D-α-1-4, parcialmente esterificado con grupos metoxilos y sustituido por cadenas laterales compuesta por azúcares neutros. Según el grado de metoxilación (GM), las pectinas son clasificadas de alto y bajo metoxilo con un GM<50 y >50, respectivamente. A partir de la propiedades funcionales (Norcino, 2020; Šešlija, 2018), la pectina de alto metoxilo de citrus (PAM) ha sido estudiada como película biodegradable, comestible y vehiculizante de ingredientes funcionales (Norcino, 2020; Šešlija, 2018). La capacidad de barrera frente al oxígeno y fuerzas mecánicas de las películas de PAM han mostrado que el mismo presenta capacidad filmogénica. No obstante, la tendencia de las películas de pectina a la absorción de humedad del medioambiente, la fracturabilidad y rigidez disminuye su propiedad de barrera, flexibilidad y extensibilidad ocasionando limitaciones de aplicación en la industria alimentaria (Šešlija, 2018). El empleo de plastificantes en la formulación de películas reduce la interacción molecular entre las cadenas poliméricas, incrementando su flexibilidad y extensibilidad a través de la reducción de cohesión y mejorando el volumen libre dentro de la película (Šešlija, 2018). Un plastificante de grado alimentario de mayor uso en películas de pectina es el glicerol en concentraciones que alcanzan el 50% de la concentración del polisacárido (Šešlija, 2018).

Por otro lado, una manera de reducir la capacidad de absorción de humedad del medio ambiente puede ser promovido mediante un proceso de desprotonización de grupos carboxilos (pH>pKa=3,2) de las unidades de ácido galacturónico favoreciendo la exposición de zonas hidrófobicas.

El estudio realizado por Alancay (2017) mostró al subproducto del tomate como una fuente potencial de una pectina soluble en medio ácido (PSH). La PSH presentó un contenido de ácido galacturónico (% AGal) y GM de 80 y 76% característicos para la denominación como pectina y su clasificación de alto metoxilo, respectivamente.

Por lo expuesto anteriormente, el trabajo de investigación tuvo como objetivo estudiar y comparar el efecto del contenido de glicerol y el pH sobre la capacidad permeante de películas de PSH, respecto a una pectina control como la PAM.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. *Materia prima*

Pectina soluble en medio acido (PSH) extraída del subproducto del tomate y comercial de citrus de alto metoxilo (PAM) provista por OTITO Inc. (Jujuy, Argentina) y CP Kelco (San Diego, USA), con un grado de metoxilación (GM) de 76 y 60%, respectivamente. El glicerol fue provisto por R&M Marketing, UK. El resto de reactivos químicos fueron de grado analítico y empleados según las características indicadas.

2.2. *Preparación de películas*

Las películas de pectina con y sin plastificante fueron elaboradas siguiendo la metodología de moldeo propuesto por Cabello (2015). A las soluciones de pectina al 2%, ajustadas a pH 3,0 y 7,0 con HCl e NaOH 0,1M, se agregaron las cantidades suficientes de glicerol para alcanzar una concentración del 50% (respecto al contenido de pectina). Las soluciones elaboradas fueron vertidas en cajas de Petri de 50mm de radio y secadas a 40°C hasta peso constante. Las películas obtenidas fueron codificadas según el siguiente orden: pectina-pH-%glicerol. Todas las películas elaboradas fueron acondicionadas a 50% de humedad relativa durante 72 horas previo a los ensayos a realizar.

2.3. *Espesor de films*

El espesor (Ep) de los films fue determinado empleando un espesímetro analógico gauges con una precisión ±0,1 (SCHWYZ, modelo KT-275).

2.4. *Permeabilidad al vapor de agua*

La permeabilidad al vapor de agua de las películas elaboradas fue determinada según lo reportado por Saha (2016) adoptado desde el método ASTM E96/ E96M (McHugh, 1993). Las películas fueron selladas en recipientes cilíndricos de 30cm de diámetro con 2/3 de su altura con agua destilada dentro de ellos (100% humedad relativa, 3159 Pa presión de vapor de agua a 20°C). Los recipientes fueron colocados dentro de un desecador quien contenía silica gel (0%HR; 0 Pa presión de vapor a 20°C) y almacenados durante 12 días para alcanzar un cambio de peso constante. Transcurrido el tiempo de almacenamiento, los

recipientes fueron finalmente pesados cada hora durante 8 horas seguidas.
El espesor de las películas fue empleado para el cálculo de la permeabilidad al vapor de agua. La velocidad de transmisión de vapor de agua (VTVA) fue calculado a partir de la pendiente (G) de la regresión lineal de la pérdida de peso versus tiempo (ecuación 1) y la permeabilidad al vapor de agua (P) fue calculado de acuerdo a la ecuación 2:

$$VTVA = G/A \quad (1)$$

$$P = cte \cdot \frac{VTVA \cdot l}{(p_{w0} - p_{w2})} \quad (2)$$

El valor corregido de la permeabilidad al vapor de agua (P_c) fueron obtenidos de acuerdo a las ecuaciones propuestas por Gennadios (1994):

$$P_c = cte \cdot \frac{VTVA \cdot l}{\Delta p_r} \quad (3)$$

$$\Delta p_r = p_{w1} - p_{w2} \quad (4)$$

$$p_{w1} = p_T - (p_T - p_{w0}) \exp^{(N_w \cdot h_i / c \cdot D)} \quad (5)$$

Donde l y A son el espesor (cm) y el área expuesta de la película; pw1 es la presión parcial del vapor de agua del lado inferior de la película (Pa), p_T es la presión atmosférica total (Pa), pw2 es la presión parcial del vapor de agua de la superficie exterior de los recipientes cilíndricos (Pa), Pw0 es la presión parcial del vapor de agua en el aire por sobre la superficie de agua destilada, N_w es el valor medido de la velocidad de transmisión del vapor de agua (g/mol·cm2·s) de la superficie del agua destillada hacia la superficie interna de la película (resistencia del espacio circundante), h es el espacio circundante entre la película y la superficie del agua destilada en el recipiente cilíndrico (cm), c es la concentración molar total del aire y vapor de agua (g/mol·cm3), D es la difusividad del vapor de agua en el aire y cte es una constante para satisfacer la conversión de unidades. Los test de permeabilidad de las muestras fueron realizados por triplicado.

2.5. *Propiedades superficiales*

Con el objeto de comprender el perfil hidrofóbico de las películas de pectina se realizó un análisis detallado de la propiedad superficial. El análisis inició con la medición del ángulo de contacto (θ) empleando los siguientes líquidos puros: etilenglicol, diiodometano y agua destilada. Posteriormente, se procedió a la determinación y análisis del componente polar y dispersivo de la fuerza de adhesión y el trabajo de adhesión (W_a) entre los líquidos puros y una superficie sólida (película de pectina). Los estudios fueron basados en las ecuaciones propuestas por Clint (2001).
Cuando un líquido de tensión superficial se encuentra en equilibrio estático con la superficie sólida, la relación entre las tensiones superficiales es:

$$\gamma_S = \gamma_{SL} + \gamma_L \cos\theta \quad (6)$$

Donde γ_S es la tensión superficial del sustrato sólido, γ_L es la tensión superficial del líquido y γ_{SL} es la tensión interfacial entre el líquido y el sólido.
La afinidad entre las fases incrementa junto con las fuerza de atracción entre las diferentes fases (fuerza de enlace) son mayores a la fuerza de atracción entre las moléculas de la misma fase (fuerza cohesiva). El trabajo de adhesión es definida cono la energía por unidad de área requerida para separar dos fases y es igual y opuesto a la energía por unidad de área libre cuando se forma la interfase. El trabajo de cohesión (W_c) para una sustancia pura es la energía requerida por unidad de área para producir dos nuevas interfases conteniendo las mismas moléculas. El incremento de la superficie es un proceso termodinámicamente desfavorable por lo que es acompañando por un incremento en la energía libre de Gibbs e igual al trabajo necesario a entregar al sistema para generar un incremento en el área.
El ángulo de contacto de un líquido sobre una superficie sólida está relacionado al trabajo de adhesión, puede ser calculado con la siguiente ecuación:

$$W_a = \gamma_L(1 + \cos\theta) \quad (7)$$

El componente dispersivo y polar de la tensión superficial de un líquido puro es conocido y el θ entre la superficie sólida y el líquido puede ser determinado. La interacción puede ser descripto en términos del trabajo de adhesión (W_a):

$$W_a = W_a^d + W_a^p \leftrightarrow W_a = 2\left(\sqrt{\gamma_S^d \cdot \gamma_L^d} + \sqrt{\gamma_S^p \cdot \gamma_L^p}\right) \quad (8)$$

Donde W_a^d y W_a^p son las fuerzas dispersivas de London y polar (interacciones acido-base, por ejemplo) respectivamente y γ_S^p y γ_S^d son las contribuciones polar y dispersivas para la superficie solida bajo estudio. Sustituyendo en la ecuación 7 y a partir de un reordenamiento obtenemos:

$$\frac{1+\cos\theta}{2}\cdot\frac{\gamma_L}{\sqrt{\gamma_L^d}}=\sqrt{\gamma_S^p}\cdot\sqrt{\frac{\gamma_L^p}{\gamma_L^d}}+\sqrt{\gamma_S^d} \quad (9)$$

La ecuación 9 representa a una ecuación de la recta. El ángulo de contacto medido con diferentes fluidos fue usado para determinar la variable independiente $\sqrt{\gamma_L^p/\gamma_L^d}$ y la variable dependientes ($1+\cos\theta)/2\cdot\gamma_L/\sqrt{\gamma_L^d}$, y a partir de estas variables, se obtuvieron los componentes polares y dispersivo del sólido (Baldan, 2012; Clint, 2001).

La medición del ángulo de contacto fue realizado a temperatura ambiente empleando un goniómetro (Standard Gionometer con imagen estándar DROP, modelo 200-00, Ramé-Hart Instrument Co., Succasunna, USA). Todas las mediciones fueron realizadas a tiempo 0 con el objeto de eliminar comportamientos anómalos de hinchamiento.

2.6. *Análisis de espectros FTIR*

El espectro infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR en inglés) fue obtenido dentro del rango de 4000-400cm^{-1} con resolución de 4 cm^{-1} empleando un espectrofotómetro infrarrojo (Nicolet iS50-thermo Nicolet, Thermo Scientific, United States) con refractancia total atenuada (ATR-FTIR).

2.7. *Análisis estadístico.*

Los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis de variancia de una vía (ANOVA), y el promedio fue comparado mediante el test de Tukey con un nivel de confianza del 95% ($p<0,05$), empleando un software Infostat (versión 2015, Universidad de Córdoba, Argentina).

3. RESULTADOS

3.1. *Propiedades superficiales*

Los estudios de propiedades superficiales realizados en las distintas formulaciones de películas de pectinas se muestran en la tabla 1. El ángulo de contacto entre el líquido y la superficie del sólido es un parámetro empleado para determinar el perfil hidrofóbico e hidrofílico de la película de pectina. Si dicho parámetro es <20° o >70° la superficie tendrá una tendencia a la humectación o un perfil hidrofóbico, respectivamente. Las formulaciones empleadas en la elaboración de películas de PSH presentaron valores de θ significativamente más bajo respecto a las películas de PAM, excepto para la película de PSH-7-0 ($p<0,05$). El efecto del pH sobre el parámetro θ de las películas de pectina mostró un comportamiento definido para la PSH. El perfil hidrofóbico de las películas de PSH, independientemente de la presencia de glicerol, incrementó significativamente con el pH ($p<0,05$). En las películas de PAM, en ausencia o presencia de glicerol, el perfil hidrofóbico fue ambivalente. El efecto de glicerol sobre el parámetro θ, en películas formuladas a un mismo pH, mostraron una disminución significativa del perfil hidrofóbico ($p<0,05$). A partir de los valores de θ que forman los líquidos empleados sobre la películas de ambas pectinas y utilizando el método grafico de Zisman (Fig.1) se ha determinado la tensión superficial crítica (γ_c) para cada una de las muestras.

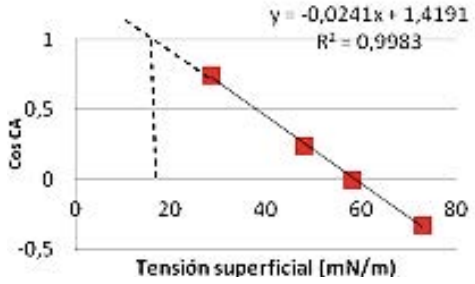


Figura1: Gráfico de Zisman

Cuando los valores de $\gamma_c > \gamma_{LV\,y}$ $\gamma_c < \gamma_{LV}$ indica que los líquidos serán o no capaces de extenderse sobre la superficie de un sólido, respectivamente. Los valores γ_c en las películas determinadas muestran una correlación con los valores de ángulo θ formado entre el agua y las películas de pectina. Los valores de $\gamma_c > \gamma_{LV\,(agua)}$ muestran una marcada correlación con el valor del ángulo θ de las muestras PSH-3-1 y PSH-7-1 quienes tienen tendencia a la humectación.

Tabla 1. Parámetros superficiales de películas de pectinas.

Muestra	Θ (°)	γ_c (mN m-1)	γ_d (mN m-1)	γ_p (mN m-1)	W_a (mN m-1)
PSH-3-0	57,8±1,4^{d}	1,8	6,2	22,1	43,3
PSH-3-1	29,3±1,2^{f}	118,0	0,3	91,3	171,5
PAM-3-0	84,5±2,3^{a}	38,9	31,1	3,6	36,1
PAM-3-1	67,1±2,8^{c}	9,9	0,1	49,1	63,3
PSH-7-0	72,7±4,1^{b}	21,1	14,6	15,9	39,6
PSH-7-1	42,6±3,2^{e}	336,5	1,5	60,4	108,2
PAM-7-0	76,2±2,2^{b}	22,5	33,4	1,7	43,5
PAM-7-1	84,1±1,4^{a}	19,2	12,2	11,9	41,4

Los valores con distintas letras son significativamente diferentes ($p<0,05$). n=3.

Los parámetros como W_a para películas en contacto con líquidos como agua, empleando los valores de

γ, γ_S^d, γ_S^p determinados empleando la ecuación 9, reafirman la capacidad del líquido de extenderse sobre la superficie de las películas estudiadas. Los valores de W_a más altos fueron para las películas de PSH-3-1 y PSH-7-1, mostrando su correlación con los valores más bajos del ángulo θ que presentaron.
Norcino (2020) informó un incremento en el perfil hidrofílico de películas de pectina formuladas con glicerol (plastificante) debido a la capacidad de retención de agua por parte del plastificante y la contribución de los grupos funcionales de la pectina.

3.2. *Espectroscopia IR con transformada de Fourier y ATR de películas de pectina.*

El análisis infrarrojo fue empleado con el fin de investigar los cambios estructurales de las películas formuladas a diferentes pHs y concentraciones de glucosa de manera tal de poder explicar las propiedades superficiales discutidas en el punto 3.1. Las Fig. 2 A y B muestran la espectroscopia infrarroja de las películas de pectina. Las películas presentan bandas correspondientes al estiramiento de los grupos –OH, C-H de los metilos en las regiones comprendidas entre 3000-3700 cm^{-1} y 2800-3000 cm^{-1}, respectivamente. La banda a 1737 cm^{-1} fue correlacionada a la energía de vibración por elongación del enlace C=O para los grupos carboxilos y esteres. Dos bandas adicionales, una de ellas localizada entre los 1600-1629 cm^{-1} y la otra alrededor de los 1400 cm^{-1} fueron asociadas a la elongación asimétrica y estiramiento asimétricos de grupos carboxilos en su forma de carboxilato, respectivamente. La región del espectro comprendida entre los 1000-1200 cm^{-1} estaría relacionada a las vibraciones C-O y C-C de los enlaces glicosídicos y anillos de piranosa.
El espectro infrarrojo de la glucosa (no graficado), agente plastificante en películas, destacó la presencia de las principales bandas identificadas y descriptas anteriormente en las películas de pectina formuladas con glicerol.
A pesar de la similitud del perfil espectrofotométrico infrarrojo de las muestras, las diferencias radican en la intensidad de banda, la cual permitiría explicar las diferencias en las propiedades superficiales de las películas estudiadas. Esto puede deberse a los espectros de transmitancia difusa extendidos (Ezati, 2019). Las películas de PSH-3-1 y PAM-3-1 (Fig. 1A) presentaron la intensidad de banda más alta del grupo –OH, asociada a los enlaces puente hidrógeno de agua, mostrando su correspondencia con los valores de γ_c, γ_p y W_a. El cambio en la intensidad de banda se observó también para el resto de bandas identificadas, asociando el comportamiento a un sinergismo entre las bandas de pectinas y glicerol. Los espectros infrarrojos de las películas formuladas a pH 7 no presentaron incrementos significativos en la intensidad de banda como en aquellas formuladas a pH 3, a excepción de las películas de PAM-7-1.

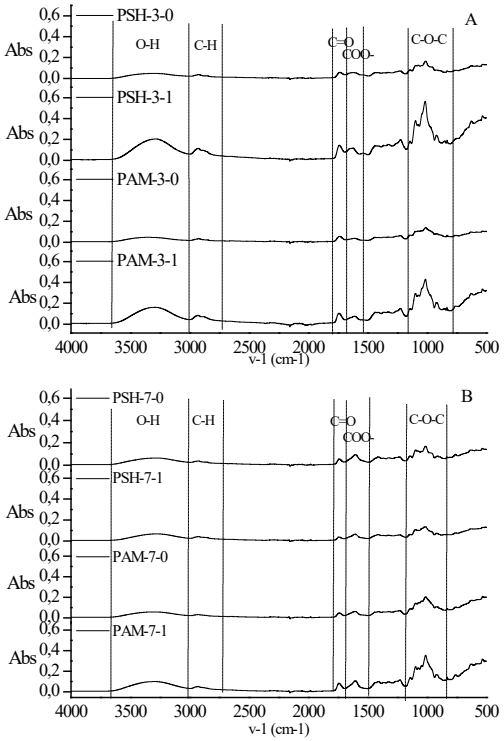


Figura 2: Espectro infrarrojo de películas: A) pH 3 y B) pH 7 con 0 y 1% glicerol.

El pH empleado en la formulación de las películas de pectina (PKa=3,0) sería un factor condicionante en el incremento de intensidad de grupos polares, como el –OH, carboxilatos y carboxilos, que promoverían a la interacción con agua mediante los enlaces puente hidrógeno.

3.3. *Permeabilidad y VTVA de películas de pectina*

La Fig.3A muestra el valor de Pc de las películas de pectina. Las películas de PSH tuvieron una disminución significativa de la Pc con incremento del pH y los valores más bajos estuvieron en formulaciones sin glicerol ($p<0,05$). Para las películas de PAM, la disminución de la Pc fue significativa para formulaciones sin glicerol. Entre las películas formuladas en iguales condiciones la Pc de las películas de PSH fueron significativamente más bajas o iguales a las de PAM, a excepción de la película de PSH-3-1 ($p<0,05$). El valor de Pc más bajo fue para la película de PSH-7-0. El valor y los cambios de la Pc presentado por las películas estudiadas mostraron correspondencia con el valor de θ y el perfil espectrofotométrico discutidos en los puntos 3.1 y 3.1.

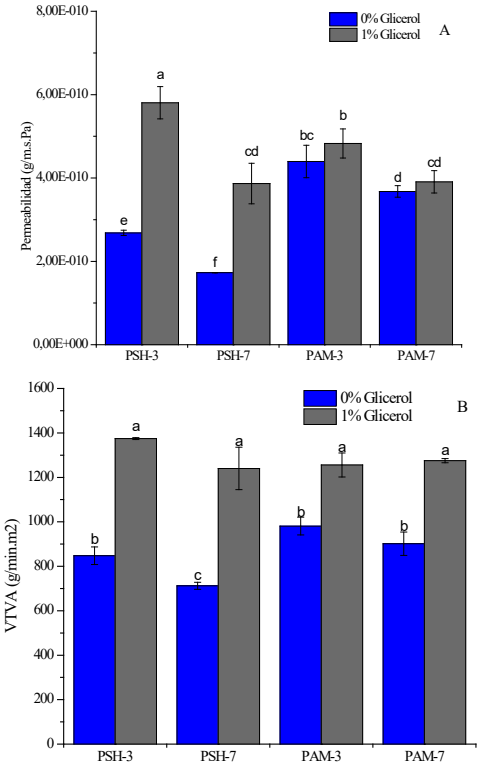


Figura 3: Permeabilidad (A) y Velocidad de Transferencia de Vapor de Agua (B) de películas de pectina.

Entre los factores que podrían influir en los valores de Pc para las películas de PSH se encontraría el grado de metoxilación (76,3%) y un volumen hidrodinámico más alto (94,6 Mw_v), respecto a la PAM (GM: 60,2% y volumen hidrodinámico: 86,7 Mw_v) según el estudio realizado por Alancay (2017). Estas características promoverían al perfil hidrofóbico y la formación de caminos tortuosos en la matriz de las películas lo que disminuirían la velocidad de difusión del vapor de agua.

Los valores VTVA de las películas respaldaron los valores y cambios de la Pc frente a factores como el pH y el contenido de glicerol.

Las películas formuladas sin glicerol muestran valores de VTVA significativamente más bajos para las películas de PSH ($p<0,05$), mientras que en presencia de glicerol no se encontró diferencias significativas ($p>0,05$).

4. CONCLUSIONES

Las películas de PSH, formuladas en ausencia de glicerol, presentaron una permeabilidad más alta respecto a la PAM. La presencia de glicerol y el incremento del pH condicionan la capacidad permeante de las películas PSH llevando a la evaluación de la factibilidad de aplicación de al menos una de las formulaciones, a diferencia de las películas de PAM quienes han mostrado una capacidad de conservación de la permeabilidad manifestada. Por la permeabilidad mostrada por las películas de PSH es necesario estudiar su aplicación como recubrimiento alimentario junto con la consideración de la existencia de nuevos ingredientes como la pectina proveniente de materias primas como el subproducto de la industria del tomate.

5. REFERENCIAS

Alancay, M. M., Lobo, M. O., Quinzio, C. M., & Iturriaga, L. B.. Extraction and physicochemical characterization of pectin from tomato processing waste. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(4), 2119-2130, 2017.

Baldan, A. Adhesion phenomena in bonded joints. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 38, 95-116, 2012.

Cabello, S. D. P., Takara, E. A., Marchese, J., & Ochoa, N. A. Influence of plasticizers in pectin films : Microstructural changes. *Materials Chemistry and Physics*, 162, 491-497, 2015.

Clint, J. H., & Wicks, A. C. Adhesion under water : surface energy considerations. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 21 (4), 267-273, 2001.

Ezati, P., & Rhim, J. pH-responsive pectin-based multifunctional films incorporated with curcumin and sulfur nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*, 230, 115638, 2020.

Gennadios, A., Weller, C. L., & Gooding, C. H.. Measurement errors in water vapour permeability of highly permeable, hydrophilic edible films. *Journal of Food Engineering*, *21*(4), 395–409, 1994.

McHugh, T. H., Avenabustillos, R., & Krochta, J. M. (1993). Hydrophilic Edible Films - Modified Procedure for Water-Vapor Permeability and Explanation of Thickness Effects. *J Food Sci*, *58*(4), 899-903, 1993.

Norcino, L. B., Mendes, J. F., Natarelli, C. V. L., Manrich, A., Oliveira, J. E., & Mattoso, L. H. C. Pectin films loaded with copaiba oil nanoemulsions for potential use as bio-based active packaging. *Food Hydrocolloids*, 106, 105862, 2020.

Saha, N. R., Sarkar, G., Roy, I., Rana, D., Bhattacharyya, A., Adhikari, A., Chattopadhyay, D. Studies on methylcellulose/pectin/montmorillonite nanocomposite films and their application possibilities. *Carbohydrate Polymers*, *136*, 1218-1227, 2016.

Šešlija, S., Nešić, A., Ružić, J., Kalagasidis Krušić,

M., Veličković, S., Avolio, R Malinconico, M. Edible blend films of pectin and poly(ethylene glycol): Preparation and physico-chemical evaluation. *Food Hydrocolloids*, *77*, 494-501, 2018.

Propiedades químicas y físicas de harinas proteicas obtenidas por hidrólisis enzimática.

Gremasqui, Ileana de los A.[1]; Giménez, María A.[1]; Lobo, Manuel O.[1] y Sammán, Norma C.[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
Área temática: Forestal, Agronomía y Alimentos (FAA)

RESUMEN

La producción de harinas proteicas a partir de materias primas no tradicionales destinadas a personas con regímenes especiales se ha incrementado en los últimos años. El presente trabajo tiene como objetivo evaluar propiedades físicas y químicas de harinas de haba (*Vicia Faba* L.*)* y quínoa (*Chenopodium quinoa Wild*) hidrolizadas con Flavourzyme (HHF y HQF respectivamente) para su aplicación como suplemento nutricional en polvo para deportistas. El proceso de hidrólisis aplicado permitió obtener mayor grado de hidrólisis en HQF (21,8%) respecto a HHF (12,6%). El rendimiento, recuperación proteica y contenido de proteínas fue significativamente mayor en HHF (32,1; 69,9 y 57,3% respectivamente). HQF presentó mayor contenido de fibra dietaria (23,18%) y cenizas (14,11%). Las actividades de agua de ambas harinas hidrolizadas no mostraron diferencias significativas y presentaron humedad <10%. Respecto a las propiedades físicas de importancia para productos en polvo, HQF mostró características de fluidez tolerable pero con mayor porosidad (29,50%), dispersabilidad (71,66%), solubilidad (62,34%) y termoestabilidad (34,30%) que HHF. Sin embargo, esta última presentó características de buena fluidez y menor higroscopicidad (18,15%). Debido al alto contenido proteico y adecuadas propiedades físicas, las harinas hidrolizadas en polvo podrían ser utilizadas como suplemento nutricional en la preparación de bebidas proteicas para deportistas.

Palabras claves: (quínoa – haba - harinas - hidrólisis - propiedades)

ABSTRACT

The production of protein flours from non-traditional raw materials intended for people with special diets has increased in recent years. The present objective is to evaluate the physical and chemical properties of bean flour (*Vicia Faba L.*) and quinoa (*Chenopodium quinoa Wild*) hydrolyzed with Flavourzyme (HHF and HQF respectively) for its application as a nutritional supplement in powder for athletes. The hydrolysis process applied to obtain a higher degree of hydrolysis in HQF (21.8%) compared to HHF (12.6%). The yield, protein recovery and protein content were significantly higher in HHF (32.1, 69.9 and 57.3% respectively). HQF presented higher content of dietary fiber (23.18%) and ash (14.11%). The water activities of both hydrolyzed flours did not show significant differences and showed humidity <10%. Regarding the physical properties of importance for powdered products, HQF showed characteristics of tolerable fluidity but with higher porosity (29.50%), dispersibility (71.66%), solubility (62.34%) and thermostability (34.30 %) than HHF. However, the latter presented characteristics of good fluidity and less hygroscopicity (18.15%). Due to the high protein content and adequate physical properties, hydrolyzed powdered flours could be used as a nutritional supplement in the preparation of protein drinks for athletes.

Keywords: (quinoa - bean - hydrolysis - properties)

1 INTRODUCCION

En la actualidad existe un gran interés por el uso de materias primas no tradicionales tales como, quínoa, amaranto, algarrobo, lupino, habas, etc. (Umaña, 2013; Velásquez, 2014) cuya finalidad es la obtención de harinas de alto contenido proteico de buena calidad. El haba *(Vicia Faba L.)* se caracteriza por tener un alto contenido proteico (más de 20%), carbohidratos, minerales y fibra (Żmudziński, 2021). La quínoa *(Chenopodium quínoa Wild.)* contiene 14-18% de proteína de buena calidad nutricional (Abugoch, 2009) y ha sido reconocida como un alimento completo debido a su composición nutricional equilibrada (Wang, 2015). Sus propiedades de absorción y digestibilidad proteica y las tecnofuncionales como solubilidad, poder emulsionante, espumante y otras, pueden ser mejoradas mediante procesos enzimáticos (Wouters, 2016; Samaei, 2020). La Flavourzyme (proteasa producida por *Aspergillus oryzae*) es una mezcla de endo y exopeptidasas con una amplia acción catalítica. Ésta junto con otras enzimas (alcalasa, papaína, bromelina, neutrasa, etc.) han sido ampliamente utilizadas para la producción de hidrolizados proteicos (Muhamyankaka, 2013; Schlegel, 2019). Generalmente los productos hidrolizados se utilizan ampliamente como ingredientes, aditivos o suplementos alimentarios en polvo destinados a grupos de personas con regímenes especiales debido a diversas patologías (Amador-Licona, 2018; De la Cruz-Góngora, 2019), o en personas con alto requerimiento de nutrientes como mujeres embarazadas o adultos mayores. También es el caso de deportistas de todas las edades que demandan de una ingesta de suplementos nutricionales para obtener una mejora o aumento en el rendimiento deportivo (Redondo, 2019; Herrero, 2016). Los suplementos en polvo tienen como condición fundamental una fácil y rápida reconstitución en un medio líquido. En este sentido, las propiedades físicas tales como densidad, actividad de agua, fluidez, porosidad, higroscopicidad, termoestabilidad, entre otras no solo influyen directamente en la calidad y aceptación de los consumidores sino también en las condiciones de envasado, transporte, mezclado, diseño de equipo y la predicción de su funcionamiento, interadherencia de partículas etc. (Cerezal Mezquita, 2008). El objetivo del presente trabajo fue la determinación de las propiedades físicas y químicas de harinas de haba y quínoa hidrolizadas enzimáticamente para su posible aplicación como suplemento nutricional en polvo para deportistas.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 *Materia prima*

La harina de haba (*Vicia Faba L.*) (HH) y los granos de quínoa (*Chenopodium quinoa wild.*) fueron provistos por pequeños productores de la Quebrada de Humahuaca, Jujuy. Para la obtención de la harina de quínoa (HQ), los granos fueron lavados 10 veces con agua para remover las saponinas (Calliope, 2015). Luego se secaron en estufa de aire forzado a 40°C durante 24 h y se molieron en un molinillo centrífugo (ARCANO. Modelo: FW 100, China). La HQ obtenida se desgrasó con Éter de petróleo (30-65°C). HH y HQ fueron almacenadas en bolsas de polietileno selladas herméticamente hasta su uso. La enzima utilizada fue Flavourzyme 500 L (Sigma Aldrich). Los productos químicos y solventes utilizados fueron de grado analítico.

2.2 *Obtención de las harinas hidrolizadas*

La hidrólisis de HH y HQ se realizó de acuerdo a Lee (2001) con algunas modificaciones. Se trabajó con 500 mL de una suspensión de harina en agua al 10%. Luego, cuando la temperatura de la suspensión alcanzó los 50°C, se añadió Flavourzyme (25 LAPU/g de proteína). La hidrólisis de las harinas se llevó a cabo por 1 y 3h para HH y HQ, respectivamente con agitación continua y manteniendo el pH en 8 (0.1 M NaOH). Las condiciones mencionadas anteriormente se seleccionaron a partir de ensayos preliminares evaluando el Índice de Nitrógeno Soluble (Lee, 2001) a diferentes valores de pH (5-8), temperatura (50-60°C) y tiempo (1-3 h). Las mezclas obtenidas se centrifugaron (HANIL Modelo: Combi 514R, Corea del Sur) a 4500 g durante 30 min (4°C). El sobrenadante se calentó a 85°C por 10 min para inactivar la enzima, se ajustó el pH a 7 y se determinó el grado de hidrólisis (GH) mediante la relación del porcentaje del nitrógeno soluble en ácido tricloroacético (TCA) al 20% del nitrógeno total del sobrenadante (Kong, 2007). El sobrenadante se secó a 35°C en estufa de convección de aire forzado y fue molido en un molinillo centrífugo hasta un tamaño de partícula <149 µm (malla n° 100). Al material seco se lo denominó harina de haba y quínoa hidrolizada con Flavourzyme (HHF y HQF respectivamente) y se almacenó a temperatura ambiente en bolsa de polietileno hasta su análisis.

2.3 *Rendimiento en masa y recuperación proteica*

El rendimiento y recuperación proteica de HHF y HQF se calculó de acuerdo a Noman (2018) y Bucko (2016), respectivamente con las siguientes ecuaciones:

$$R\% = \frac{m_h}{m_f} * 100 \quad (1)$$

Donde R%: rendimiento, mh: masa de la harina hidrolizada, y mf: masa de harina de haba utilizada.

$$RP\% = \frac{m_h\ c_h}{m_f\ c_f} * 100 \quad (2)$$

Donde RP%: recuperación proteica, ch: porcentaje de masa de proteína en la harina hidrolizada seca, y cf: porcentaje de masa de proteína en la harina de haba.

2.4 *Composición química*

Proteína, lípidos, cenizas y fibra dietaria total (FDT) se determinaron de acuerdo a técnicas AOAC (2015) y el contenido de hidratos de carbohidratos (HC) por diferencia = 100 - (proteína + cenizas + lípidos + FDT). Los azúcares solubles (AS) se determinaron por el método de Dubois (1956).

2.5 *Propiedades físicas*

2.5.1 *Humedad y actividad de agua*

La humedad de HHF y HQF se determinó de acuerdo a Sarabandi (2018). La actividad de agua (a_w) se determinó utilizando un analizador Aqua Lab (Decagon Devices, USA) a 25°C después de la estabilización de las muestras a dicha temperatura durante 40 min.

2.5.2 *Densidad aparente y compactada*

Ambas densidades (g/mL) se calcularon de acuerdo a Sarabandi (2018) con algunas modificaciones. La densidad aparente (ρA) se obtuvo agregando 1g de harina hidrolizada en un cilindro graduado vacío de 10 mL y, la relación de masa de dicha harina y el volumen ocupado en el cilindro se determinó como el valor de la densidad aparente. Luego, el cilindro se golpeó manualmente 10 veces sobre una superficie de goma desde una altura de 15 cm, se obtuvo el cambio de volumen leído directamente desde el cilindro y se determinó la densidad compactada (ρC).

2.5.3 *Relación de Husner e Índice de Carr*

Las características de fluidez de HHF y HQF se determinaron según la relación de Husner (RH) y el índice de Carr (IC) de acuerdo a Kaleem (2020) utilizando los valores densidad aparente y compactada determinadas anteriormente.

$$RH = \frac{\rho C}{\rho A} \quad (3)$$

$$IC = \frac{\rho C - \rho A}{\rho C} * 100 \quad (4)$$

Se utilizó los valores de referencia de la Tabla 1 para determinar las características de fluidez.

Fluidez	RH	IC
Excelente	1.00 – 1.11	≤ 10
Buena	1.12 – 1.18	11 - 15
Adecuada	1.19 – 1.25	16 - 20
Tolerable	1.26 – 1.34	21 - 25
Pobre	>1.35	>26

Tabla 1. Características de fluidez

2.5.4 *Densidad de partícula*

La densidad de partícula (ρP) se calculó de acuerdo a Jinapong (2008). 1g de harina hidrolizada se transfirió a un cilindro medidor de 10 cm con un tapón de vidrio. Se añadió 5 mL de éter de petróleo y el cilindro se agitó hasta que se suspendieron todas las partículas de la muestra. Al finalizar, todas las partículas de la muestra que quedaron en las paredes del cilindro se enjuagaron con 1 mL adicional de éter de petróleo y se leyó el volumen total de éter con la muestra suspendida. La densidad de partícula se calculó de la siguiente manera:

$$\rho P = \frac{peso\ del\ hidrolizado\ (g)}{Volumen\ (mL)\ de\ eter\ de\ petroleo - 6} \quad (5)$$

2.5.5 *Porosidad*

La porosidad (ξ) de HHF y HQF se calculó utilizando la relación entre la densidad de partícula y la densidad compactada según Jinapong (2008) como se muestra a continuación:

$$\xi = \frac{\rho P - \rho C}{\rho P} * 100 \quad (6)$$

2.5.6 *Dispersabilidad*

La dispersabilidad (D) se determinó de acuerdo a Laokuldilok (2015) con algunas modificaciones. Se añadió 1g de harina hidrolizada a 10 mL de agua destilada y luego se agitó vigorosamente en un agitador magnético durante 25 s. El reconstituido se pasó a través de un tamiz de 210 µm. Una alícuota de 1 mL de la solución tamizada fue transferida a una caja de aluminio y se secó a 105°C durante 4h. Luego

los sólidos totales como porcentaje se utilizaron para el cálculo de la dispersabilidad siguiendo la ecuación:

$$\%D = \frac{(10 + a) * \%ST}{a * (100 - \frac{b}{100})} \quad (7)$$

Donde a: es la cantidad de harina hidrolizada utilizada (g), b: es el contenido de humedad de la harina hidrolizada y %ST: es el porcentaje de materia seca de la harina hidrolizada después de haber sido pasado por el tamiz.

2.5.7 *Solubilidad*

La solubilidad (S) se determinó de acuerdo a Jinapong (2008) con algunas modificaciones. 1 g de harina hidrolizada se disolvió en 10 mL de agua destilada y se agitó continuamente durante 30 min. La suspensión se centrifugó a 6000 rpm por 20 min. El sobrenadante se transfirió completamente a una caja de aluminio y se secó a 105°C durante 24 h. Después del secado, se midió el peso seco soluble y se utilizó para calcular la solubilidad como porcentaje.

2.5.8 *Higroscopicidad*

La higroscopicidad (Hg) se determinó de acuerdo a Sarabandi (2018) con ligeras modificaciones. Aproximadamente 2 g de cada harina hidrolizada se colocaron en un desecador que contenía solución saturada de NaCl (75% HR) almacenado a 25°C durante 7 días. La higroscopicidad se expresó como gramos de humedad adsorbida por 100 g de solidos secos (g/100g).

2.5.9 *Termoestabilidad*

La termoestabilidad (TE) se determinó de acuerdo a Mohamed (2009). Se agitaron suspensiones de harina hidrolizada (2%, pH 6,8) en un agitador magnético durante 15 min y 2 alícuotas (10 mL) se analizaron por su contenido de proteínas por el método Kjeldahl. Otras 2 alícuotas (10 mL) se colocaron en tubos de ensayo con tapa y se calentaron en un baño de agua hirviendo durante 20 min. Después de enfriar rápidamente a 22°C y centrifugar a 2000 g por 20 min, se analizó el contenido de proteína del sobrenadante. La agregación térmica de las harinas hidrolizadas se representó por la diferencia en el contenido de proteína del sobrenadante causada por el calentamiento.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 *Grado de hidrólisis (GH)*

HHF y HQF presentaron GH de 12.57 y 21.79%, respectivamente (Tabla 2). El menor GH obtenido en HHF podría deberse al menor tiempo de hidrólisis empleado y a la liberación de péptidos de mayor tamaño insolubles en TCA (Sbroggio, 2016).

	HHF	HQF
GH (%)	12,57 ± 0,78^a	21,79 ± 0,69^b
R (%)	32,14 ± 1,23^b	21,02 ± 0,88^a
RP (%)	69,88 ± 0,36^b	67,28 ± 0,16^a
Proteínas	57,31 ± 0,29^b	54,69 ± 0,13^a
Lípidos	0,004 ± 0,000^a	0,003 ± 0,000^a
Cenizas	11,79 ± 0,42^a	14,11 ± 0,28^b
FDT	10,56 ± 0,41^a	23,18 ± 0,74^b
HC	20,34	8,02
AS	9,95 ± 0,87^a	8,46 ± 0,89^a

Tabla 2. Rendimiento en masa, recuperación proteica, grado de hidrólisis y composición proximal de las harinas hidrolizadas.

HHF: Harina hidrolizada de haba; HQF: Harina hidrolizada de quínoa. Los valores en cada fila seguidos de diferentes letras en superíndice son significativamente diferentes ($p<0,05$). Los valores son medias ± desviaciones estándar (g/100g bs) del análisis por triplicado. Los valores en cada fila seguidos de diferentes letras en superíndice son significativamente diferentes ($p<0,05$).

3.2 *Rendimiento en masa y recuperación proteica*

El rendimiento en masa y la recuperación proteica de las harinas hidrolizadas se muestran en la Tabla 2. Ambos parámetros fueron significativamente mayores ($p<0,05$) en HHF debido a su mayor solubilización y contenido de proteínas (Thamnarathip, 2016).

3.3 *Composición proteica*

En la tabla 2 se muestra la composición proximal de las harinas hidrolizadas. El contenido de proteínas en HHF es mayor ($p<0,05$) que en HQF, esto se debería al mayor contenido de proteínas del material de partida y a la mayor solubilización de proteínas y material de bajo peso molecular (Zhao, 2012) producido durante la hidrólisis a pesar de presentar un menor GH. El contenido de cenizas y fibra fueron

significativamente diferentes (p<0,05). El alto contenido de cenizas podría ser debido a la adición de NaOH requerido para ajustar el pH durante la hidrólisis (Nwachukwu, 2019). El mayor contenido de fibra en HQF la convierte en una fuente importante de fibra para ser utilizada como ingrediente en diferentes formulaciones alimenticias. El contenido de azúcares no presentó diferencias significativas entre las harinas hidrolizadas. Las diferencias en la composición proximal de las harinas hidrolizadas se deben a las características propias de las materias primas de partida utilizadas.

3.4 *Propiedades físicas*

3.4.1 *Humedad y actividad de agua*

La tabla 3 muestra el contenido de humedad y actividad de agua (a_w) de las harinas hidrolizadas. HQF mostró el mayor contenido de humedad (p<0,05), sin embargo ambas harinas hidrolizadas presentaron contenidos de humedad menor al 10%, valores adecuados para la estabilidad de los alimentos. Los valores de a_w cercanos a 0,35 no presentaron diferencias significativas. Esta actividad de agua (inferior a 0,6) indica estabilidad microbiológica y bioquímica durante un almacenamiento adecuado para las harinas hidrolizadas (Sarabandi, 2018; Arepally, 2019).

3.4.2 *Densidad aparente y compactada*

Los valores de ambas densidades se muestran en la Tabla 3. HHF presentó valores mayores en ambas densidades (p<0,05). Esto indicaría una menor superficie de contacto para enlaces e interacciones entre partículas, disminuyendo la cohesión, mejorando la fluidez, lo que favorecería el empaque de la misma (Jinapong, 2008).

3.4.3 *Relación de Husner e Índice de Carr*

Las harinas hidrolizadas presentaron diferentes características de flujo (Tabla 3). Por la proporción de Husner e Índice de Carr (Tabla 1) HHF se caracterizó por una buena fluidez, mientras que HQF presentó características de fluidez tolerable. La característica de buena fluidez en HHF se debe a su mayor densidad aparente y compactada como se discute en el punto anterior (Jinapong, 2008). El valor de fluidez tolerable de HQF puede ser debido a su mayor contenido de humedad lo que conduce a un aumento en la cohesión y en la fuerza de fricción entre partículas (Bhusari, 2014).

3.4.4 *Densidad de partícula*

La tabla 3 muestra la densidad de partícula de las harinas hidrolizadas. HHF presentó menor densidad de partícula respecto a HQF (p<0,05). Esto se debería a la presencia de partículas más finas, con menos espacio entre ellas, lo que concuerda con su mayor densidad de compactación (Bhusari, 2014).

3.4.5 *Porosidad*

La porosidad en HQF fue significativamente mayor que HHF (p<0,05) (Tabla 3) lo que favorecería la reconstitución de esta harina hidrolizada en un medio líquido (Arepally, 2019). La menor porosidad de HHF concuerda con su mayor densidad, compactación y menor densidad de partícula. Esta menor porosidad aumentaría la estabilidad de HHF en el almacenamiento (Premi, 2017).

3.4.6 *Dispersabilidad*

HQF presentó mayor dispersabilidad que HHF (p<0,05) (Tabla 3). Sin embargo, ambas harinas hidrolizadas presentan valores de dispersabilidad que se encuentran dentro del rango ideal para alimentos (67,08-99,98) (Bhusari, 2014). De acuerdo a Abdalla (2010) un mayor contenido de azúcares podría mejorar esta propiedad.

3.4.7 *Solubilidad*

La solubilidad de HQF fue mayor que HHF (p<0,05). Esto podría ser debido a su mayor GH, contenido de azúcar y porosidad. La mayor porosidad de HQF permitiría mejor absorción capilar de agua en la rehidratación (Ishwarya, 2015).

3.4.8 *Higroscopicidad*

Los porcentajes de higroscopicidad de las harinas hidrolizadas se muestran en la Tabla 3. HQF presentó una mayor higroscopicidad (p<0,05) lo que indica que absorbió más rápidamente la humedad del medio ambiente comprometiendo su estabilidad (Laokuldilok, 2015). Esto se debería a que la totalidad de sus carbohidratos son azúcares, que llevó a la obtención de un material aglomerado y pegajoso (Sapper, 2015). Por otro lado, el mayor GH podría haber generado un mayor contenido de péptidos de bajo peso molecular que presentan una mayor higroscopicidad (Espejo-Carpio, 2013).

3.4.9 *Termoestablidad*

HQF presentó una mayor termoestabilidad que HHF (P<0,05) (Tabla 3). Esto indica que HQF presenta una mayor capacidad para mantener a sus proteínas y péptidos solubles cuando se someten a temperaturas de procesamiento elevadas, evitando la agregación y precipitación (Mohamed, 2009).

Tabla 3. Propiedades físicas de las harinas hidrolizadas.

	HHF	HQF
Humedad (%)	6,69 ± 0,28[a]	9,52 ± 0,42[b]
a_w	0,359 ± 0,01[a]	0,345 ± 0,00[a]
ρA (g/mL)	0,77 ± 0,03[b]	0,50 ± 0,03[a]
ρC (g/mL)	0,88 ± 0,00[b]	0,65 ± 0,05[a]
RH	1,14 ± 0,01[a]	1,29 ± 0,06[b]
IC (%)	12,52 ± 0,71[a]	22,49 ± 3,54[b]
ρP (g/mL)	1,25 ± 0,02[a]	1,67 ± 0,04[b]
ξ (%)	29,50 ± 0,73[a]	61,13 ± 1,26[b]
D (%)	66,46 ± 1,55[a]	71,66 ± 1.46[b]
S (%)	27,70 ± 3,05[a]	62,34 ± 1,94[b]
Hg (%)	18,15 ± 0,58[a]	24,26 ± 0,59[b]
TE (%)	17,56 ± 0,43[a]	34,30 ± 2,45[b]

HHF: Harina hidrolizada de haba; HQF: Harina hidrolizada de quínoa. Los valores en cada fila seguidos de diferentes letras en superíndice son significativamente diferentes ($p<0,05$).

4 CONCLUSIÓN

La hidrólisis enzimática permitió obtener harinas altamente proteicas, ricas en fibra dietaria y con adecuadas propiedades físicas. Las buenas características de porosidad y dispersabilidad en la harina de quínoa hidrolizada determinan su mejor solubilidad haciéndola aprovechable para su reconstitución en un medio líquido. Su alta higroscopicidad limitaría su estabilidad y vida útil, sin embargo se podría utilizar en productos de panadería, correctamente envasados, ya que la retención de agua es indispensable para mantener frescura y sensación de humedad en la boca, de los alimentos horneados. Por su mayor termoestabilidad podría ser sometida a tratamientos con elevada temperatura. Por otra parte las propiedades físicas de la harina de haba hidrolizada, podrían ser mejoradas mediante la adición de agentes estabilizantes. Por lo tanto, estas harinas hidrolizadas podrían ser un ingrediente adecuado para la formulación de alimentos para deportistas como bebidas altamente proteicas y productos de panadería como galletas, bizcochuelos, etc.

5 REFERENCIAS

AOAC, Association of Official Analytical Chemists. Methods of Analysis. http://www.aoac.org/. 2015.

Abdalla, A.A., M.A. Mohammed, H.A. Mudawi, Production and quality assessment of instant baobab (Adansonia digitata L.). *Advance Journal of Food Science and Technology*, 2(2), 125-133, 2010.

Abugoch, L., E. Castro, C. Tapia, M. C. Añón, P. Gajardo, A. Villarroel, Stability of quinoa flour proteins (Chenopodium quinoa Willd.) during storage. *International journal of food science & technology*, 44(10), 2013-2020, 2009.

Amador-Licona, N., E.V. Moreno-Vargas, C. Martinez-Cordero, Ingesta de proteína, lípidos séricos y fuerza muscular en ancianos. *Nutrición Hospitalaria*, 35(1), 65-70, 2018.

Arepally, D., T.K. Goswami, Effect of inlet air temperature and gum Arabic concentration on encapsulation of probiotics by spray drying. *Lwt*, 99, 583-593, 2019.

Bhusari, S. N., K. Muzaffar, P. Kumar, Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. *Powder technology*, 266, 354-364, 2014.

Bučko, S., J. Katona, L. Popović, L. Petrović, J. Milinković, Influence of enzymatic hydrolysis on solubility, interfacial and emulsifying properties of pumpkin (Cucurbita pepo) seed protein isolate. *Food Hydrocolloids*, 60, 271-278, 2016.

Calliope, S.R., M.O. Lobo, N.C. Sammán, Proceso de elaboración de hojuelas cocidas de quínoa (Chenopodium quinoa Willd). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 65(4), 234-342, 2015.

Cerezal Mezquita, P., A. Carrasco Verdejo, K. Pinto Tapia, R. Arcos Zavala, Suplemento alimenticio de alto contenido proteico para niños de 2-5 años.: II. Propiedades físicas, químicas, reológicas y color. *Interciencia*, 33(4), 301-307, 2008.

De la Cruz, V.G., B.T. Martínez, L.N. Cuevas, E.B. Rangel, M.C.Z. Medina, A.G. García, S. Villalpando, R. Rebollar, T.L. Shamah, Anemia, deficiencias de zinc y hierro, consumo de suplementos y morbilidad en niños mexicanos de 1 a 4 años: resultados de la Ensanut 100k. *Salud pública de México*, 61:821-832, 2019.

Dubois, M.; K.A. Gilles, J.K. Hamilton, P.A. Robers,

F. Smith, Colorimetric method for the determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28(3), 350-356, 1956.

Espejo-Carpio, F.J., A. Guadix, E.M. Guadix, Spray drying of goat milk protein hydrolysates with angiotensin converting enzyme inhibitory activity. *Food and bioprocess technology*, 7(8), 2388-2396, 2014.

Ishwarya, S. P., C. Anandharamakrishnan, Spray-freeze-drying approach for soluble coffee processing and its effect on quality characteristics. *Journal of Food Engineering*, 149, 171-180, 2015.

Jinapong, N., M. Suphantharika, P. Jamnong, Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of food engineering*, 84(2), 194-205, 2008.

Kaleem, M.A., M.Z. Alam, M. Khan, S.H.I. Jaffery, B. Rashid, An experimental investigation on accuracy of Hausner Ratio and Carr Index of powders in additive manufacturing processes. *Metal Powder Report*, Article in press, 2020.

Kong, X., H. Zhou, H. Qian, Enzymatic hydrolysis of wheat gluten by proteases and properties of the resulting hydrolysates, *Food Chemistry*, 102, 759-763, 2007.

Herrero, J.R., A.J. Ortega, Alimentación del adolescente en situaciones especiales: embarazo, lactancia y deporte. *Revista de Formación Continuada de la Sociedad Española de Medicina de la Adolescencia*, 4(3), 31-44, 2016.

Laokuldilok, T., N. Kanha, Effects of processing conditions on powder properties of black glutinous rice (Oryza sativa L.) bran anthocyanins produced by spray drying and freeze drying. *LWT-Food Science and Technology*, 64(1), 405-411, 2015.

Lee, J.Y., H.D. Lee, C.H. Lee, Characterization of hydrolysates produced by mild-acid treatment and enzymatic hydrolysis of deffated soybean flour, *Food Research International,* 34(2-3), 217-222, 2001.

Mohamed, G.F., F.S. Taha, S.S. Mohamed, Enzymatic protein hydrolysates of common carp fish: I. Functional properties and molecular weight distribution. *Alexandria Journal of Food Science and Technology*, 6, 49-60, 2009.

Muhamyankaka, V., C. F. Shoemaker, M. Nalwoga, X.M. Zhang, Physicochemical properties of hydrolysates from enzymatic hydrolysis of pumpkin (Cucurbita moschata) protein meal. *International Food Research Journal*, 20(5), 2227, 2013.

Noman, A., Y. Xu, W.Q. Al-Bukhaiti, S.M. Abed, A.H. Ali, A.H. Ramadhan, W. Xia, Influence of enzymatic hydrolysis conditions on the degree of hydrolysis and fuctional properties of protein hydrolysis obtained from Chinese sturgeon (Acipenser sinensis) by using papain enzyme. *Process Biochemistry*, 67, 19-28, 2018.

Nwachukwu, I.D., R.E. Aluko, A systematic evaluation of various methods for quantifying food protein hydrolysate peptides. *Food Chemistry*, 270, 25-31, 2019.

Premi, M., H.K. Sharma, Effect of different combinations of maltodextrin, gum Arabic and whey protein concentrate on the encapsulation behaviour and oxidative stability of spray dried drumstick (Moringaoleifera) oil. *International Journal of Biological Macromolecules*, 105, 1232-1240, 2017.

Redondo, R.B., C.J.C. Fernández, C. D.T. Galván, M. del Valle Soto, L.F. Bonafonte, A.G. Gabarra, T.A. Gaztañaga, P.M. Manonelles, B.M. González, N.G.A. Palacios, J.A.V. García, Suplementos nutricionales para el deportista. Ayudas ergogénicas en el deporte, *Revista de la Federación Española de Medicina del Deporte y de la Confederación Iberoamericana de Medicina del Deporte*, 36(1), 1-114, 2019.

Samaei, S.P., M. Ghorbani, D. Tagliazucchi, S. Martini, R. Gotti, T. Themelis, E. Babini, Functional, nutritional, antioxidant, sensory properties and comparative peptidomic profile of faba bean (Vicia faba, L.) seed protein hydrolysates and fortified apple juice. *Food Chemistry*, 330, 127120, 2020.

Sapper, M.; N. Martínez, M. Camacho, Medida de las propiedades físicas de productos de fruta en polvo. *Universidad Politécnica de Valencia. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural*. Tesis de master, 2015.

Sarabandi, K., A.S. Mahoonak, H. Hamishekar, M. Ghorbani, S.M. Jafari, Microencapsulation of casein hydrolysates: Physicochemical, antioxidant and microstructure properties. *Journal of Food Engineering*, 237, 86-95, 2018.

Sbroggio, M.F., M.S. Montilha, V.R.G.D. Figueiredo, S.R. Georgetti, L.E. Kurozawa, Influence of the degree of hydrolysis and type of enzyme on antioxidant activity of okara protein hydrolysates. *Food Science and Technology*, 36(2), 375-381, 2016.

Schlegel, K., K. Sontheimer, A. Hickisch, A.A. Wani, P. Eisner, U. Schweiggert-Weisz, Enzymatic hydrolysis of lupin protein isolates—Changes in the molecular weight distribution, technofunctional characteristics, and sensory attributes. *Food science & nutrition*, 7(8), 2747-2759, 2019.

Thamnarathip, P., K. Jangchud, A. Jangchud, S. Nitisinprasert, S. Tadakittisarn, B. Vardhanabhuti, Extraction and characterisation of R iceberry bran protein hydrolysate using enzymatic

hydrolysis. International Journal of *Food Science & Technology*, 51(1), 194-202, 2016.

Umaña, J., S. Lopera, C. Gallardo, Caracterización de harinas alternativas de origen vegetal con potencial aplicación en la formulación. *Alimentos Hoy*, 22(29), 33-46, 2013.

Velásquez, L., V. Aredo, Y. Caipo, E. Paredes, Optimización por diseño de mezclas de la aceptabilidad de una galleta enriquecida con quinua (Chenopodium quinoa), soya (Glycine max) y cacao (Theobroma cacao L.). *Agroindustrial Science*, 4(1), 35-42, 2014.

Wang, S., A. Opassathavorn, F, Zhu, Influence of Quinoa Flour on Quality Characteristics of Cookie, Bread and C hinese Steamed Bread. *Journal of Texture Studies*, 46(4), 281-292, 2015.

Wouters, A. G., I. Rombouts, E. Fierens, K. Brijs, J.A. Delcour, Relevance of the functional properties of enzymatic plant protein hydrolysates in food systems. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(4), 786-800, 2016.

Zhao, Q., H. Xiong, C. Selomulya, D. Chen, H. Zhong, S. Wang, W. Sun, Q. Zhou, Enzymatic hydrolysis of rice dreg protein: Effects of enzyme type on the functional properties and antioxidant activities of recovered proteins. *Food Chemistry*, 134, 1360-1367, 2012.

Żmudziński, D., U. Goik, P. Ptaszek, Functional and Rheological Properties of Vicia faba L. Protein Isolates. *Biomolecules*, 11(2), 178, 2021.

Residuo de cáscara de limón: diseño preliminar de un dulce

Albarracín, Patricia[1]; Belló, B. Eli[1]; Brito Ojeda, Claudia[1] y Migliavacca, Julieta[1]

(1) Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán.

palbarracin@herrera.unt.edu.ar; ebello@herrera.unt.edu.ar; ferbritoojeda@gmail.com; jmigliavacca@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN

El éxito de una industria de productos alimenticios se basa en su capacidad para producir alimentos que satisfagan el gusto de los consumidores. Es así como el análisis sensorial de preferencia ayuda a determinar el nivel de aceptación del consumidor hacia algún producto. En este trabajo se presenta el análisis sensorial de 3 prototipos de dulces fabricados a partir del residuo que queda de la maquina peladora de limón, de una empresa citrícola de Monteros, Tucumán, Argentina. La diferencia entre los prototipos se basó en la cantidad de lavados de la cáscara para eliminar el sabor amargo de la mismas. Las pruebas sensoriales se llevaron a cabo con una población de 50 estudiantes de la Universidad Nacional de Tucumán. Consistieron en evaluar la aceptabilidad estudiando color, aroma, consistencia y sabor, usando una escala hedónica transformada a escala numérica, y mediante la aplicación del análisis de varianza. Los resultados mostraron que no existen diferencias significativas entre los dulces fabricados. Pero de la evaluación global de las muestras se concluyó que el dulce con 3 etapas de lavado ha sido seleccionado con un 52%, en coincidencia con el valor promedio de 6.9 en los parámetros estudiados en una escala de 1 a 10.

ABSTRACT

The success of the food production industry depends on its ability to make products that satisfy consumer's preferences. As a result, a sensorial analysis of preference helps to determine the acceptance level of consumers towards a product. In this paper, a sensorial analysis is shown from 3 jam samples made from the waste left after using a lemon peeling machine, from a lemon production company of Monteros, Tucuman, Argentina. The difference between the samples is based on the number of times the peel was washed to eliminate their sour taste. The sensorial tests were carried out with a population of 50 students from National University of Tucuman (UNT). They assessed the acceptability by studying colour, smell, consistency, and taste, using a hedonic scale transformed into a numeric scale, and through the application of a variance analysis. The results showed that there were not significant differences between the jams. However, considering the global evaluation of the samples, it was concluded that the jam with 3 stages of washing has been selected with a 52% of coincidence in the average value of 6.9 in the parameters studied in a scale of 1 to 10.

Palabras claves: Residuo - Análisis Sensorial – Dulce – Cáscara de limón
Keywords: Waste - Sensory Analysis – Jam – Lemon peel

INTRODUCCIÓN

El limón es una fruta que presenta bajas calorías y es una fuente importante de vitamina C (ácido ascórbico), vitaminas del complejo B (B1, B2, B3, B5, B6), y ácido cítrico. Además, aporta ciertos minerales como potasio, sodio, fósforo, azufre, magnesio y calcio (Landa, 2014). Las distintas partes del limón (como las celdas de jugo, las membranas, el aceite) se usan como ingredientes naturales para la elaboración de bebidas o incluso hasta en yogures.

El jugo, sirve como acidificante y por eso está presente incluso en gaseosas y refrescos que no lleven la tradicional etiqueta "sabor limón".

El aceite -otra de las partes de la fruta- se utiliza para aromatizar artículos, como los de limpieza.

La cáscara o ralladura contiene nutrientes y es

usada para múltiples propósitos, desde gastronómicos y medicinales hasta limpieza o higiene. Una de las materias primas para la obtención de pectinas es la cáscara de limón, ya que permite reutilizar sustancias que con o sin tratamiento se eliminan al ambiente. Su incorporación a otro sistema industrial disminuye el impacto ambiental y aumenta la producción (Cuozzo, 2013).

La cáscara deshidratada de limón está compuesta por dos porciones de la fruta que son el flavedo o epicarpio y el albedo o mesocarpio.

El flavedo, la porción exterior de la fruta, está compuesto fundamentalmente por pigmentos (carotenos) vitaminas y aceite esencial que se extrae en una etapa previa a la extracción del jugo.

El albedo está compuesto por celulosa, carbohidratos solubles, sustancias pécticas (pectinas y protopectinas), flavonoides, aminoácidos y vitaminas.

Las semillas están compuestas por azucares, grasas y cierta cantidad de proteínas.

La cáscara es un producto 100% natural, obtenido luego de la extracción del jugo y el aceite esencial de frutas sanas, maduras y libres de contaminantes.

La cáscara de limón contiene aproximadamente 5 a 10 veces más vitaminas que el jugo de limón, potasio, magnesio, calcio, ácido fólico y caroteno y altas cantidades de calcio y vitamina C. El uso de "residuos" industriales de origen vegetal, en este caso la cáscara, usada como materia prima para hacer dulce permitiría darle un valor económico y ambiental a la misma.

En las citrícolas que realizan análisis de agroquímicos, como una etapa de control de calidad de la fruta, la pelan para extraer el aceite esencial quedando como residuos, el limón pelado y un "filete" de cáscara. Dada las propiedades de la cáscara, existe la posibilidad de darle valor agregado usándola como materia prima de un dulce y así evitar la generación de un residuo.

En este trabajo se presenta dulces diseñados usando el descarte, el "filete" de cáscara, con distintas etapas de lavado para eliminar el amargor, sometidos a evaluación de análisis sensorial.

Las pruebas del Análisis Sensorial permiten traducir las preferencias de los consumidores en atributos bien definidos para un producto (Ramírez Navas, 2012).

En las pruebas del consumidor, también llamado test hedónico, se trabaja con evaluadores no entrenados, y se utilizan escalas simples de interpretar.

Estas pruebas aportan a la aceptación del producto por el consumidor, a través del diseño de un alimento mediante el estudio de las propiedades organolépticas como apariencia, olor, aroma, textura y sabor del alimento.

El análisis sensorial comprende técnicas de medición que muestran grados de variación de sensibilidad de persona a persona (Pedrero, 1989). Uno de los mayores problemas asociados al análisis sensorial de los alimentos es conseguir que la respuesta humana sea precisa y reproducible.

El control de las condiciones resulta importante para estos análisis. Es por ello que debe controlarse el área de prueba para hacer la degustación. Las condiciones deben conducir a un ambiente tranquilo, donde sea posible impedir las distracciones y las interrupciones, libre de olores, con una temperatura confortable, una iluminación adecuada para evitar cualquier influencia sobre la respuesta de los evaluadores, área de prueba alejada del lugar del procesamiento para impedir la contaminación con olores y un espacio amplio para que pueda realizarse cómodamente las pruebas (Anzaldúa Morales, 1994).

MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras fueron tomadas del descarte de la máquina peladora de limón que genera un "filete" (fig 1) de cáscara mientras se logra la presión suficiente para extraer, de las celdas, el aceite esencial usado

para los análisis de agroquímicos en la fruta.

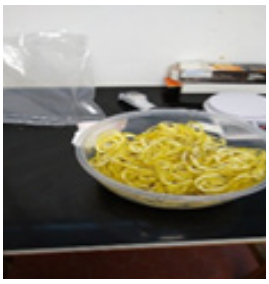


Figura 1 “Filete” maquina peladora

Se trabajó con muestras generadas en el mes de julio, de una empresa citrícola localizada en Monteros, localidad de la Provincia de Tucumán, Argentina.

Las muestras de cáscara se acumulaban en un turno y se trasladaban en bolsas de polietileno (fig.2) al Laboratorio de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán donde se elaboraron los dulces.



Figura 2 Bolsas con muestras

Para eliminar los compuestos amargos (flavonoides) presentes en la cáscara se realizaron lavados con agua caliente a temperatura de ebullición. Esta etapa se realizó tomando como referencia los datos obtenidos en un estudio anterior de este grupo, Chauvet et al (2016), donde se calentó hasta ebullición la cáscara en agua durante 15 minutos, se desechó el caldo logrado y se repitió el procedimiento 5 veces, se decidió en este trabajo, hervir durante 30 minutos, pero utilizando una menor cantidad de lavados.

Se pesaron 500 gramos de cáscara de limón, se colocaron en 2 litros de agua y se llevaron a ebullición, manteniéndose así por 30 minutos, lo que constituyo la muestra 1. De manera similar se lograron las muestras 2 y 3, pero con 2 y 3 lavados en idénticas condiciones. Se determinó la acidez con peachímetro Testo, digital, con precisión de 0,1 y sistema de compensación de la temperatura.

Cada muestra fue reducida en una procesadora doméstica. Para la fabricación del dulce se utilizaron 500 gramos de la muestra de cáscara lavada, 500 gramos de azúcar común tipo A y 2 litros de agua.

Todos los ingredientes se colocaron en una olla y se cocinó a fuego lento hasta obtener la consistencia de un dulce, caracterizado por la medición de solidos solubles. Se dejó enfriar y se determinó de cada muestra, los grados Brix (°Bx) con un refractómetro de mano, marca Arcano, a fin de verificar lo establecido en Artículo 811 (Código Alimentario Argentino) que la cantidad de sólidos solubles no debe ser menor de 60.0%.

Luego con el propósito de determinar la preferencia de los consumidores se hizo la degustación de los dulces obtenidos de las muestras 1, 2 y 3 en el Laboratorio de la Universidad Nacional de Tucumán.

Las pruebas de aceptación se emplean para evaluar el grado de satisfacción o aceptabilidad del producto, con el fin de determinar en una serie de productos cuál es el más aceptable o el preferido.

En las pruebas de aceptación (Carpenter et al, 2000) se emplean tres métodos principales para presentar las muestras: monádico (se presenta una a una), monádico secuencial (las muestras se presentan secuencialmente, para ser analizadas de una en una) y presentación apareada (se presentan dos muestras a la vez).

Las pruebas de aceptación o preferencia (Carpenter et al, 2000) sólo deben ser realizadas por personas “inexpertas”, seleccionadas simplemente en base a criterios demográficos y de usuarios del producto, por lo que el entrenamiento especifico no solo es innecesario, sino también contraproducente. Sin embargo, las personas consultadas deben comprender las instrucciones y tener claro el procedimiento de la prueba.

La aceptabilidad de un producto o grupo de productos puede llevarse a cabo con un panel no entrenado de al menos 50 personas, (Carpenter et al, 2000). Sin embargo, este panel no es normalmente representativo de la población objetivo de consumidores, por lo que solo se emplearía para proporcionar un indicio inicial de aceptabilidad o como un estudio de “orientación al consumidor”, justamente en esta instancia de la investigación es importante obtener un indicio hacia donde orientar el diseño del producto en cuestión.

Las pruebas, en este trabajo, se llevaron a cabo con un panel de 50 miembros de la comunidad universitaria no entrenado, con una edad promedio de 25 años. Los panelistas correspondían a la franja etaria de 22 a 28 años en un 68% y en lo relativo al género, el 56% fueron varones.

El ambiente de los ensayos fue controlado para asegurar un lugar tranquilo, luminoso, aireado y libre

de olores extraños. Se recomendó a los panelistas, antes de realizar la cata: evitar el uso de alcohol, cigarrillo, alimentos con especias, café, fatiga o cansancio extremo y ausencia de manifestaciones de enfermedades que perjudique su habilidad de degustador.

Para la prueba de aceptabilidad se utilizó una porción de dulce del tamaño de una cuchara de postre y un vaso de agua mineral a temperatura ambiente, para evitar la saturación del gusto y se brindaron muestras de los dulces fabricados de manera aleatoria para ser saboreados. Las muestras se presentaron de manera monádico.

Se utilizó una escala hedónica de nueve puntos (Carpenter et al, 2000) de donde se seleccionaron para relevar la aceptabilidad del producto los parámetros de color, aroma, consistencia y sabor en 4 niveles: "Me gusta mucho", "Me gusta ligeramente", "Me disgusta ligeramente" y "Me disgusta mucho". También se determinó la acidez, dulzura y amargor, en una escala a 3 niveles, "poco", "ideal" y "excesivo". Y además se solicitó que eligieran que dulce preferían, en primera instancia.

A medida que se recogen los datos pueden analizarse directamente, o puede ser necesario una modificación o transformación previa al análisis para darles un formato más adecuado, por ejemplo, combinación de categorías, conversión de escala de categorías a numérica, transformaciones logarítmicas, agrupación de datos no numéricos como preguntas sin desarrollo preestablecidas, etc. (Carpenter et al, 2000).

Por la metodología elegida se procedió a codificarlos en una planilla Excel para su procesamiento. Los datos de los parámetros fueron transformados numéricamente por la asignación de una puntuación basada en la adaptación de la Escala de tipo Likert (Matas, 2018), según la tabla 1 y tabla 2, usando la ecuación (1).

Tabla 1. Transformación de la escala hedónica.

Escala Hedónica	Puntuación
Me gusta mucho	10
Me gusta ligeramente	7
Me disgusta ligeramente	4
Me disgusta mucho	1

Tabla 2. Transformación de la escala hedónica.

Escala Hedónica	Puntuación
Poco	-1
Ideal	0
Excesivo	+1

$$Vpi = (\sum_1^4 Sj * Pj)/n \quad (1)$$

Donde.

Vpi: valor numérico del parámetro i

SJ= suma de repuestas de escala hedónica j

Pj= puntuación escala hedónica según tabla 1 o 2

n: cantidad de panelistas

Los valores promedios del pH en el agua de lavado se realizaron con 2 repeticiones, para cada muestra y se calculó el promedio de estas.

Para determinar si hay diferencias significativas entre los distintos parámetros evaluados se utilizó el Análisis de Varianza de 2 factores (Anzaldúa Morales, 1994) con un nivel de confianza del 95%.

RESULTADOS

Los datos obtenidos del pH promedio del agua de los diferentes lavados (1, 2 y 3) se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Valor de pH en agua de lavado.

Muestra	pH
Muestra 1 (M1)	7.7
Muestra 2 (M2)	7.8
Muestra 3 (M3)	7.7

Los sólidos solubles medidos como °Brix con refractómetro, mostraron valores promedio de 63.6, 61.4 y 60.1 según lavado 1, 2 y 3, respectivamente, lo que asegura el cumplimiento del Código Alimentario Argentino en la cantidad de sólidos solubles.

Tabla 4 Porcentaje de Aceptación sobre Aspecto

Aspecto del dulce	% aceptación		
Escala	M1	M2	M3
Me gusta mucho	0	8	26
Me gusta ligeramente	14	40	52
Me disgusta ligeramente	60	46	16
Me disgusta mucho	26	6	6

Los datos obtenidos para los parámetros Color, Aroma, Consistencia y Sabor, en la escala hedónica, se analizaron por separado. Se muestran a continuación, los obtenidos de las muestras 1, 2 y 3 para el parámetro Aspecto y Sabor en las Tablas 4 y 5 respectivamente.

Tabla 5 Porcentaje de Aceptación de Sabor

Aspecto del dulce	% aceptación		
Sabor	M1	M2	M3
Me gusta mucho	16	36	30
Me gusta ligeramente	44	46	50
Me disgusta ligeramente	36	18	18
Me disgusta mucho	4	0	2

Luego se promediaron los datos obtenidos de todos los parámetros transformados por la ecuación 1, según tabla 6.

Tabla 6. Promedio de los parámetros evaluados en Dulces.

Parámetros	M 1	M 2	M 3
Aspecto	3.6	5.5	6.9
Color	5.3	5.4	6.1
Aroma	6.9	6.7	6.3
Consistencia	4.2	6.4	8.0
Sabor	6.2	7.5	7.2
Promedio	5.2	6.3	6.9

Al Aplicar el Análisis de la Varianza para dos factores, se determinó que no hay diferencias significativas al 95% de confianza, entre los promedios de los valores para las 3 muestras estudiadas.

Para el parámetro de acidez se evaluó en la escala hedónica (Tabla 2) y se presentan los valores promedios en la Tabla 7.

Tabla 7 Porcentaje de Aceptación de la Acidez

Aspecto del dulce	% aceptación		
Acidez	M1	M2	M3
Poco	50	56	52
Ideal	32	40	46
Excesivo	18	4	2

De igual manera se calculó los promedios para Dulzura y Amargor del dulce.

Tabla 8. Promedio de los parámetros evaluados en Dulces.

Parámetros	M 1	M 2	M 3
Acidez	-0,3	-0.3	-0,2
Dulzura	-0.5	0.0	-0,4
Amargor	-0.5	-0.2	-0,6

Luego, para los parámetros de acidez, dulzura y amargor se los transformó usando los valores de la tabla 2 y se obtuvieron los datos presentados en la tabla 8, donde los valores (+) indican un exceso y los (-) un faltante y el (0) con la cantidad ideal.

De las respuestas brindadas seleccionando que dulce elige globalmente como el mejor se determinó los % que se muestran en la Tabla 9.

Como primer resultado se puede establecer por los valores de °Brix de los 3 dulces fabricados cumplen con un valor igual o mayor a 60, lo que le confiere el cumplimiento del requisito legal del Código Alimentario Argentino, además verifica que la proporción de los componentes entre cáscara y azúcar es adecuada.

Tabla 9. Porcentaje de preferencia global de los Dulces.

Muestras	% preferencia
M1	12
M2	36
M3	52

Del análisis global se puede concluir que, si bien no hay diferencias significativas en los parámetros, usando la transformación de la escala hedónica (según Tabla 1 y 2), la muestra 3 ha sido la más seleccionada con un 52%, lo que se confirma al analizar los valores de la Tabla 6 que arrojó el mayor promedio de los parámetros de aspecto, color y consistencia con un valor de 6,9, frente a 5,2 y 6.3 de los productos 1 y 2, respectivamente.

Si se analiza la acidez para el producto fabricado con 3 lavados de la tabla 8 indica que esta muestra presenta el resultado “poco ácido”.

En relación con el parámetro amargor, el mismo se logró eliminar con el tratamiento de lavado y ebullición, ya que todas las respuestas, en promedio, arrojo “poco amargor”.

En cuanto al tiempo de lavado de 30 minutos, se debe continuar estudiando en reducir estos tiempos, ya que la cáscara tomada de referencia en el estudio (Chauvet, 2016) era extraída directamente del proceso productivo, con un troceado mucho menor a los “filetes” de cáscara tomado como materia prima, en este trabajo.

En relación con la dulzura, salvo la muestra 2, todas las muestras marcaron poca dulzura por lo que se considera que se debería estudiar una mayor proporción de azúcar en la fabricación del dulce.

CONCLUSIONES

De la evaluación global de las muestras se concluyó que el dulce con 3 etapas de lavado ha sido seleccionado con un 52%, en coincidencia con el valor promedio de 6.9 en los parámetros estudiados en la escala de 1 a 10 adoptada. Del análisis se concluyó la necesidad de avanzar en el estudio en reducir el tiempo de lavado, pero manteniendo las pruebas entre 2 y 3 lavados, y probar un mayor porcentaje de azúcar en la fabricación.

Se concluye que esta prueba ha arrojado resultados altamente positivos al tener una evaluación directa del producto diseñado con consumidores directos, solo que, sesgado a una población de estudiantes

universitarios, lo que en el futuro habría que avanzar hacia otra población.

REFERENCIAS.

Anzaldúa Morales, A. *La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica.* 198 p. Editorial. ACRIBIA, Zaragoza, España. 1994

Carpenter, Roland, Lyon, David, Hasdell, Terry. *Análisis sensorial en el desarrollo y control de la calidad de alimentos*. Editorial Acribia S.A. Zaragoza España. 2000

Chauvet, S., Morales, R., Silverio, C. I. Análisis sensorial en el diseño de dulces de cáscara de limón. Publicado Editorial Universitaria de la Universidad Tecnológica Nacional - Argentina en *http://www.edutecne.utn.edu.ar/coini_2016/trabajos/G001_COINI2016.pdf. Pag 1-4 ISBN 978-987-1896-74-5. 30-03-2021*

Cuozzo, S., Pectinas de cáscara de limón, IDITeC *Instituto de Desarrollo e Innovación Tecnológica para la Competitividad Territorial Revista Científica Universidad de San Pablo,* Nro 2, año 2013.

Landa, R. I. 2014. Análisis de la producción y comercialización del limón en Argentina. Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina. *http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/analisis-produccion-comercializacion-limon.pdf. 05-06-2021.*

Mata, A. 2018. Diseño del formato de escalas tipo Likert: un estado de la cuestión. REDIE vol.20 no.1 Ensenada ene./mar. 2018. *Diseño del formato de escalas tipo Likert: un estado de la cuestión (scielo.org.mx)*

Pedrero, D; Pangborn, R.M. *Evaluación sensorial de los alimentos: Métodos analítico.* Mexico. Edición 1. Allambra Mexicana. México. 1989.

Ramírez Navas, J.S. Análisis Sensorial: Prueba orientada al consumidor. *ReCiTeIA,* Universidad del Valle. Colombia, 2012.

Secado de plasma bovino en lecho de chorro bidimensional

Lescano Farias, Lara V.[1]; Coronel, Eve L.[1]; Tarifa, Enrique[3]; Quinzio Claudia[2]; Ayunta Anabel[2]; Iturriaga Laura[2] y Martínez, Sandra L. [1]

(1) Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero.
lescanolaravaleria@gmail.com; evecoronel@gmail.com
(2) Centro de Investigación de Biofísica Aplicada y Alimentos, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Santiago del Estero, Argentina.
cmquinzio@hotmail.com; anabelayunta@gmail.com; anabelayunta@gmail.com
(3) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.
eetarifa@gmail.com

RESUMEN

Se aplicó la tecnología de fluidización a la deshidratación del plasma bovino con el objetivo de conocer las características físicas, su composición centesimal y funcional para ser incorporado en formulaciones de alimentos. Inicialmente se obtuvo el plasma bovino líquido para luego fraccionarlo en sus dos porciones, plasma y glóbulos rojos. Luego, se realizó la deshidratación por fluidización en un lecho de chorro bidimensional y además se aplicó liofilización como patrón de referencia. El secado en el lecho de chorro se realizó a las temperaturas 60ºC, 70ºC y 80ºC con un caudal de aire de secado Qaire=0,006m^3/s, un caudal de plasma Wplasma 9ml/min en un lecho de inertes conformado por partículas de diámetro Dp=4mm y altura estática H_0=11cm. A las muestras en polvo obtenidas se las comparó con muestras comerciales secadas por método spray y con la muestra liofilizada. Para ello se realizó la determinación de la composición centesimal y de las propiedades funcionales: solubilidad de la proteína y gelificación. Los resultados revelaron que la temperatura óptima del secado del plasma bovino para la producción de polvo con mejores propiedades funcionales es la muestra M_2, secada a 70°C, cuyas propiedades reológicas y de solubilidad resultaron similares a las muestras control.

ABSTRACT

The dehydration of the bovine plasma was carried out in a two-dimensional jet bed in order to know the physical characteristics, its centesimal and functional composition to be incorporated into food formulations. Initially, liquid bovine plasma was obtained and then divided into its two portions, plasma and red blood cells. Then, dehydration by fluidization and lyophilization was carried out. The fluidization drying was carried out in a two-dimensional jet bed at different temperatures 60ºC, 70ºC and 80ºC with a drying air flow rate Qaire = 0.006m3 / s, a plasma flow rate Wplasma 9ml / min in an inert bed made up of particles diameter Dp = 4mm and static height H0 = 11cm. The powder samples obtained were compared with commercial samples dried by spray method and with the lyophilized sample. For this, the determination of the centesimal composition and the functional properties, solubility of the protein and gelling was carried out. The results revealed that the appropriate temperature for drying bovine plasma for its production and with better functional properties is M_2 dried at 70 ° C with rheological and solubility properties similar to the control samples.

Palabras Claves: Plasma bovino- Secado- Lecho de chorro bidimensional.

Keywords: Bovine plasma- Drying- Two dimensional jet bed.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Plasma bovino

La sangre de algunos animales como el bovino, se aprovecha en diversos países para la alimentación humana.
Como lo describen Isaza Rengifo *et al.* (2010) y Cáñez Carrasco *et al.* (2016), el plasma puede ser incorporado en los alimentos como fuente de proteína de bajo costo. Estas características lo hacen atractivo para la formulación de productos cárnicos altamente nutritivos. Los datos aportados por Bracho *et al.* (2001) y Tirado *et al.* (2015) muestran que el plasma bovino es un líquido translucido más denso que el agua y ligeramente alcalino, con pH de 7,4; en algunos casos puede presentar un ligero color rosado, está constituido por un 90% de agua y contiene alrededor de 72% de proteínas. El Código Alimentario Argentino, en el artículo 173 del capítulo XVIII de Aditivos Alimentarios, habilita su uso con ciertas restricciones.

1.2 *Deshidratación*

La deshidratación es una técnica de conservación de alimentos donde el contenido de humedad se reduce hasta un nivel en el cual el producto se estabiliza químicamente, reduciendo el deterioro microbiológico y confiriéndole la ventaja de la preservación de sus propiedades por más tiempo. Los autores Reyes *et al*. (2007) y Mahn *et al*. (2017) describen que el secado en lecho fluidizado se encuentra entre los métodos más eficientes, debido al excelente contacto entre el aire de secado y las partículas, con elevados coeficientes de transferencia de calor y masa.

1.3 *Composición centesimal*

El estudio de la composición centesimal de alimentos, adquiere relevancia dada la necesidad del control de los mismos para consumo humano. La composición centesimal permite conocer el porcentaje en masa, de cada elemento que forma parte del plasma bovino.

1.4 *Propiedades funcionales*

Conocer la solubilidad de la proteína plasmática es importante para comprender su comportamiento en alimentos como embutidos cárnicos, de panificación, bebidas y demás matrices alimentarias donde el plasma bovino puede ser aplicado.
Como lo describen Cheftel *et al.* (1989) y Rodríguez Furlán *et al.* (2009), la solubilidad es un buen indicador de las posibles aplicaciones de proteínas e influye en otras propiedades funcionales, como la capacidad de formar gel. No obstante, a ello, Selmane *et al.* (2008) citado de Isaza Rengifo *et al.* (2010) describen que las proteínas pueden ser fácilmente desnaturalizadas por el calor, debido a la estructura secundaria y terciaria de dichas proteínas.
Además, Pilosof y Bartholomai (2000) muestran que las características típicas de muchos alimentos están determinadas por la propiedad de gelificar de las proteínas durante el calentamiento. Específicamente en el caso del plasma bovino, Isaza Rengifo *et al.* (2010) detallan que se lo caracteriza como un buen formador de gel estable y firme, que inhibe la pérdida de agua y posee mayor resistencia al aumentar el pH. Conociendo las ventajas de la operación de deshidratación en alimentos, se aplicó la tecnología de fluidización para la deshidratación del plasma bovino con el objetivo de conocer las características físicas, su composición centesimal y funcional para ser incorporado en formulaciones de alimentos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 *Obtención de plasma bovino*

El plasma bovino para deshidratar se obtuvo de sangre bovina recolectada del frigorífico Forres-Beltrán S.A., ubicado en departamento Robles, provincia de Santiago del Estero.
La sangre fue obtenida en forma higiénica de animales seleccionados sanitariamente en forma previa y posterior a su faena. La industria frigorífica agrega a la sangre recién recolectada una mezcla de sales anticoagulantes, compuesta por Citrato de Sodio y Cloruro de Sodio, 3 g/l de sangre. Para obtener el plasma bovino líquido se procedió a separar la sangre bovina en sus dos porciones, plasma y glóbulos rojos. Esto se realizó a las 24 hs de su recolección. La separación del plasma se efectúo por centrifugación, donde 20 tubos de ensayo de 9 ml fueron centrifugados a 5000 rpm durante 20 minutos y mantenidos a 4°C. El plasma se retiró de los tubos centrifugados con pro-pipeta y pipeta y se depositó en recipientes desinfectados para ser almacenados por 4 días en ambiente refrigerado a 4ºC, la porción globina se desechó con las precauciones de seguridad pertinentes. El proceso se esquematiza en la Figura 1.

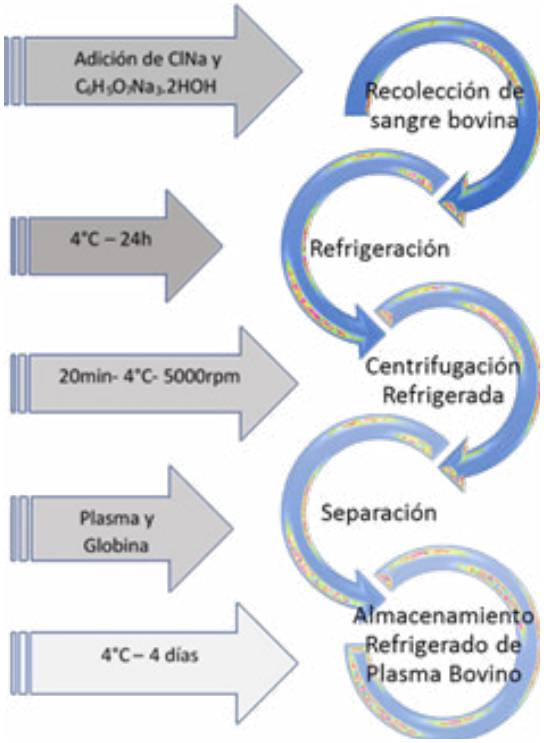


Figura 1: Diagrama de flujo del proceso para obtención de plasma líquido.

2.2 *Secado en lecho de chorro bidimensional*

El equipo de lecho de chorro bidimensional usado para el secado del plasma bovino trabaja con un flujo en contracorriente, el aire de secado ingresa en forma ascendente impulsado por un soplante centrífugo y el plasma a secar ingresa de forma descendente por goteo.
El lecho utilizado estuvo conformado por partículas de diámetro D_p=4mm y altura estática H_0=11cm sostenidas en una cámara rectangular de acero inoxidable con un ancho α=20cm, una longitud γ=70cm y un espesor β=3,2cm. Fueron evaluadas tres muestras de plasma a diferentes temperaturas de secado, 60ºC, 70ºC y 80ºC con un caudal de aire de secado Q_{aire}=0,006m^3/s, un caudal de plasma W_{plasma} 9ml/min.
Con el objetivo de estabilizar las condiciones operacionales se inició con un procedimiento de estandarización. Este proceso consistió en fluir agua destilada con un flujo por goteo sobre el lecho durante 30 minutos. Luego se inició el proceso de secado de 500ml de plasma bovino. Para cada temperatura seleccionada la operación tuvo una duración aproximada de 50 minutos. Se controlaron las temperaturas de entrada del aire, las temperaturas a lo largo de la cámara del lecho y las temperaturas de bulbo húmedo y bulbo seco. El plasma bovino en polvo obtenido en cada determinación se separó de la corriente de aire mediante un ciclón, colectándose las muestras secas. El producto en polvo se pesó en una balanza analítica para calcular el rendimiento del proceso.
Finalmente, las muestras se envasaron al vacío y se almacenaron para posteriores análisis.

2.3 *Deshidratación en el equipo de liofilización.*

Para la obtención de las muestras liofilizadas se procesó 500 ml de plasma bovino líquido distribuido en cajas de petri para ser congelado por 72 hs a -10°C y luego liofilizado a -45°C por 72 hs en un liofilizador Labconco Freezone Dry Systems.
El plasma liofilizado se envasó al vacío y almacenó en condiciones óptimas para posteriores análisis.

2.4 *Determinación de la composición centesimal del plasma bovino deshidratado.*

Se realizó la determinación de composición centesimal del plasma bovino en polvo deshidratado por fluidización y liofilización para ser comparados con los datos aportados por el laboratorio de la muestra comercial.
Para la determinación de humedad se usó el método indirecto, Eliminación Térmica de Agua y su Determinación por Pérdida de Peso a través de la técnica AOAC 27.3.06 (1995). Para la determinación de cenizas se usó el método de incineración en mufla a 550°C con la técnica AOAC 32.10.5 (1995). Para la determinación de grasas se usó el método de Soxhlet con la técnica AOAC 32.1.14 (1995). Y para la determinación de proteínas se usó el método de Hach *et al.* (1987). Además, los datos fueron analizados por medio de un Análisis de Varianza (ANOVA) y las medias se compararon por la prueba de diferencias mínima significativa (DMS) a un nivel de significancia de 0,05. El programa estadístico utilizado para realizar el análisis fue InfoStat (Di Rienzo, 2020).

2.5 *Determinación de las propiedades funcionales del plasma bovino deshidratado.*

Se realizaron determinaciones de las propiedades funcionales de las proteínas del plasma bovino en polvo con el objetivo de procurar su utilización en un producto cárnico, como por ejemplo los embutidos.
Las determinaciones realizadas fueron la solubilidad de la proteína y la capacidad de gelificación.
Para determinr la solubilidad de la proteína se utilizó el método de Morr *et al.* (1985) luego se tomaron dos alícuotas de 10ml cada una, una fue centrifugada y la otra fue sometida a tratamiento térmico (TT) en un baño a 90ºC 15 minutos, antes de ser centrifugada a 2000g por 15 minutos a 4°C, el sobrenadante

fue filtrado con un papel de filtro. Luego, la concentración de proteínas de las muestras filtradas y de la muestra original fue determinada por el método de Lowry *et al.* (1951) en un espectrofotómetro Jasco V630. Para la determinación de la capacidad de gelificación se estudió el comportamiento reológico y se hicieron ensayos dinámicos. El estudio del comportamiento reológico de los distintos geles de plasma se realizó utilizando un reómetro TA Instruments AR 1000 modo rotacional (New Castle, DE197020), con una geometría plato-plato de acero inoxidable de 25mm de diámetro, accionado a través del software TA Instrument- Water LLC 109 Lukens Drive. Se determinaron los módulos dinámicos: G´ (comportamiento elástico, sólido ideal) y G" (comportamiento viscoso, líquido ideal) en función de la frecuencia.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al separar de la sangre la porción globina por centrifugación, se obtuvo un plasma líquido ambarino traslúcido con pH 7,6 como lo reportaron Bracho *et al.* (2001) y Tirado *et al.* (2015). Mediante el secado por fluidización del plasma bovino se logró un plasma en polvo de color amarillo claro, como muestra la Figura 2.



Figura 2: Plasma en polvo obtenido por fluidización en lecho de chorro bidimensional.

Del proceso de liofilización se obtuvo un producto claro, seco en escamas como se muestra en la Figura 3.



Figura 3: Plasma en polvo obtenido por liofilización.

Los resultados de las determinaciones de composición centesimal se detallan en Tabla 1.
Los datos encontrados de proteínas del plasma se encuentran en el mismo rango aportado por los autores Bracho *et al.* (2001) y Tirado *et al*. (2015) por lo que podrían ser incorporadas como fuente de proteína en los alimentos como lo exponen Isaza Rengifo *et al.* (2010) y Cáñez Carrasco *et al.* (2016). Los resultados de las determinaciones de solubilidad de la proteína y capacidad de gelificación de las muestras de plasma bovino fluidizado, liofilizado y comercial se muestran en las Tablas 2, 3 y 4 respectivamente.

Tabla 1. Composición centesimal de las muestras de plasma bovino fluidizado, liofilizados y comercial.

Muestras	%Hbs	%Cenizas	%Grasas	%Proteínas
$\mathbf{M_1}$	$7{,}05^{B} \pm 0{,}07$	$14{,}38^{B} \pm 0{,}21$	$0{,}39^{B} \pm 0{,}12$	$74{,}50^{A} \pm 0{,}12$
$\mathbf{M_2}$	$5{,}33^{A} \pm 0{,}19$	$14{,}69^{B} \pm 0{,}16$	$0{,}36^{B} \pm 0{,}00$	$74{,}36^{A} \pm 0{,}37$
$\mathbf{M_3}$	$5{,}06^{A} \pm 0{,}21$	$14{,}53^{B} \pm 0{,}26$	$0{,}23^{A} \pm 0{,}01$	$74{,}37^{A} \pm 0{,}48$
$\mathbf{M_L}$	$7{,}08^{C} \pm 0{,}02$	$15{,}95^{B} \pm 0{,}15$	$0{,}20^{A} \pm 0{,}01$	$74{,}32^{A} \pm 0{,}04$
My	$6{,}00^{B} \pm 0{,}00$	$12{,}00^{A} \pm 0{,}00$	-	$81{,}90^{B} \pm 0{,}00$

$M_{1=}$ muestra fluidizada a 60ºC, $M_{2=}$ muestra fluidizada a 70ºC, M_3 = muestra fluidizada a 80ºC, M_y = muestra comercial con secado spray y $M_{L=}$ muestra liofilizada. El % Grasa de M_y no es determinada por la empresa comercial. A, B, C = Valores con diferentes letras en la misma columna son estadísticamente diferentes ($p<0{,}05$).

Tabla 2. Solubilidad de las muestras de plasma bovino fluidizado, liofilizado y comercial.

Muestras	Solubilidad Promedio
M_1 Sin TT	96,19 ^{A,C,E}
M_1 TT	95,7 ^{B,D,F}
M_2 Sin TT	96,48 ^{A,C,E}
M_2 TT	81,35 ^{B,D,F}
M_3 Sin TT	89,23 ^{A,C,E}
M_3 TT	92,23 ^{B,D,F}
M_L Sin TT	99,53^{E}
M_L TT	87,59^{F}
M_y Sin TT	92,65^{A}
M_y TT	74,88^{B}

$M_{1=}$ muestra fluidizada a 60ºC, $M_{2\ =}$ muestra fluidizada a 70ºC, M_3 = muestra fluidizada a 80ºC, M_y = muestra comercial con secado spray y $M_{L\ =}$ muestra liofilizada. TT = tratamiento térmico. A, B, C = Valores con diferentes letras en la misma columna son estadísticamente diferentes ($p<0,05$).

Los resultados indican que todas las muestras de Plasma Bovino sin tratamiento térmico exhibieron elevada solubilidad, siendo M_2 la de mayor solubilidad dentro de las muestras fluidizadas, no presentando diferencia significativa ($p> 0,05$) con respecto de M_L y M_y. La solubilidad de todas las muestras disminuyó cuando fueron sometidas a tratamiento térmico, esto podría deberse a la desnaturalización de la proteína por calentamiento como reportan Selmane *et al.* (2008) citado de Isaza Rengifo *et al.* (2010). No hubo diferencias significativas entre las muestras fluidizadas ni respecto de las muestras de referencia (M_L y M_y).

Tabla 3. Reología con tiempo de gelificación de 15min de las muestras de plasma bovino fluidizado, liofilizados y comercial.

Muestras	Tiempo de gelificación: 15min		
	G´(Pa)	G´´(Pa)	tan δ
M_1	1618,00^{C}	219,73^{CB}	0,14
M_2	1122,67^{D}	163,67^{DC}	0,15
M_3	1200,33^{D}	142,43^{D}	0,12
M_L	1891,00^{B}	277,07^{B}	0,15
M_y	148,55^{A}	20,24^{A}	0,14

$M_{1=}$ muestra fluidizada a 60ºC, $M_{2=}$ muestra fluidizada a 70ºC, M_3 = muestra fluidizada a 80ºC, M_y = muestra comercial con secado spray y $M_{L=}$ muestra liofilizada.A, B, C, D = Valores con diferentes letras en la misma columna son estadísticamente diferentes ($p<0,05$).

Tabla 4. Reología con tiempo de gelificación de 60min de las muestras de plasma bovino fluidizado, liofilizados y comercial.

Muestras	Tiempo de gelificación: 60 min		
	G´(Pa)	G´´(Pa)	tan δ
M_1	1952,00^{B}	246,20^{C}	0,13^{A}
M_2	3046,00^{C}	496,35^{D}	0,16^{B}
M_3	460,03^{A}	58,74^{A}	0,13^{A}
M_L	2363,33^{BC}	352,03^{B}	0,15^{AB}
M_y	754,00^{A}	100,79^{A}	0,13^{A}

$M_{1=}$ muestra fluidizada a 60ºC, $M_{2\ =}$ muestra fluidizada a 70ºC, M_3 = muestra fluidizada a 80ºC, M_y = muestra comercial con secado spray y $M_{L\ =}$ muestra liofilizada. A, B, C = Valores con igual letra en una misma columna no presentan diferencias significativas ($p>0,05$).

Todas las muestras gelificaron en caliente, presentaron un comportamiento viscoelástico-elástico, con predominio de G´ sobre G" y dependientes de la frecuencia en todo el rango estudiado. Esto puede determinar el uso del plasma en alimentos como gelificantes según las características de estos alimentos y su procesamiento de obtención como lo explican Pilosof y Bartholomai (2000). Además, este comportamiento se corresponde con el de geles débiles. A pH 7, 8 y 9, la gelificación no tiene lugar, o sólo ocurre débilmente contrario a lo reportado por Isaza Rengifo *et al*. (2010). Esto puede deberse a la escaza o nula agregación de moléculas de proteínas en el estado de pre-gel como lo describe Rodriguez Furlán (2009) como también a la relación entre la desnaturalización por calentamiento y la insolubilidad proteica que si influyó en la formación de geles como lo describen Cheftel *et al.* (1989) y Rodríguez Furlán *et al.* (2009).

Los valores de G´ y G" se incrementaron con el tiempo de gelificación. Los espectros mecánicos de todas las muestras fluidizadas mostraron valores de G´ más altos que los de M_y a los dos tiempos de gelificación. La M_2 es la que presenta un comportamiento similar a la muestra liofilizada presentando un valor de G´ más alto cuando el tiempo de gelificación fue de 60 minutos.

4. CONCLUSIÓN

A partir de las experimentaciones con plasma bovino líquido en un secadero con tecnología de lecho de chorro bidimensional, fue posible obtener un producto en polvo con características físicas semejantes a la muestra comercial obtenida por secado spray.

Al comparar el producto fluidizado con el de referencia liofilizado, puede concluirse que las diferencias físicas son propias del tipo de procesamiento, y que las propiedades funcionales del producto liofilizado responden mejor tanto en solubilidad como en gelificación con respecto al producto fluidizado.

Las muestras fluidizadas, tuvieron mejor comportamiento en cuanto a las propiedades de gelificación y solubilidad que las muestras comerciales.

La temperatura más adecuada para el secado del plasma bovino y con mejores propiedades funcionales es M_2 con propiedades reológicas y de solubilidad similares a las muestras control.

Por último, se puede concluir que el lecho de chorro bidimensional es una tecnología eficiente para el secado del plasma bovino, permitiendo propiedades funcionales conservadas y adecuadas para una matriz alimentaria.

5. REFERENCIAS

Association of Official Agricultural Chemists AOAC 16th Ed. Washington, Estados Unidos, 1995.

Bracho, M., Márquez E. y Arias B., Estudios comparativos del contenido de aminoácidos esenciales en sangre de bovino y cerdo, Rev. Cient. Fac. Ciencias Vet. LUZ, 11(2), 133-138, 2001.

Cáñez-Carrasco M.G., Cumplido-Barbetia L.G., Orduño-Fragoza O., y Corella-Madueño M. A G. Estudio de las propiedades funcionales de mezclas de proteínas en un sistema modelo. Acta Universitaria, 26(4), 1-3, 2016.

Cheftel, J.C., Cuq J.L. y Lorient D., Proteínas alimentarias. Acribia S.A, 1989.

Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL http://www.infostat.com.ar

Hach C.C., Bowden B. K., Kopelove A. B. y Brayton S. V. J. Assoc. Off. Anal. Chem, 70, 5, 1987.

Isaza Rengifo J. M., Londoño Ramírez L.M., Restrepo Molina D. A., Cortes Rodriguez M. y Suárez Mahecha H. Producción y propiedades funcionales de plasma bovino hidratado en embutido tipo salchichón. Rev Colomb Cienc Pecu, 23, 199-206, 2010.

Lowry O.H., Rosebrough N.J., Farr A. L. y Randall R.J. Protein measurements with the Folin phenol reagent. The Journal of Biological Chemistry, 193, 265-275, 1951.

Mahn, A.V., Pérez, C.E. y Reyes, A.E. Efecto de las Condiciones de Secado en Lecho Fluidizado Pulsante sobre el Contenido de Sulforafano de Brócoli, Información Tecnológica, 28, 17-28, 2017.

Morr, C.V., German, B., Kinsella, J.E., Regenstein, J.M., Van Buren, J.P., Kilara, A., Lewis, B.A. y Mangino, M.E. A collaborative study to develop a standardized food protein solubility procedure. Journal of Food Science, 50, 1715–1728, 1985.

Reyes, A., P. Moyano y J. Paz. Drying of Potato Slices in a Pulsed Fluidized Bed Drying Technology, 25, 581–590, 2007.

Rodriguez Furlán L., Pérez Padilla A. y Campderrós M. Inulin like lyoprotectant of bovine plasma proteins concentrated by ultrafiltration. Food Research International 43 788–796, 2009.

Selmane D, Christophe V. y Gholamreza G. Extraction of proteins from slaughterhouse by-products: Influence of operating conditions on functional properties. Meat Sci; 79:640-647, 2008.

Pilosof A. M. R. y Bartholomai G. B. Caracterización funcional y estructural de proteínas. Eudea Universidad de Buenos Aires. 1° edición, 181, 2000.

Tirado D. F., Montero P. M. y Acevedo D. Aceptabilidad Sensorial y Calidad Microbiológica de Bebidas a Base de Arroz y Plasma Bovino y Porcino. Información Tecnológica, 26(6), 45-54, 2015.

Tecnología sous vide para la conservación de hortalizas. Aplicación en berenjenas (*Solanum melongena L.*).

Farias Mariana J.[1,2]; Lemos, María L.[1,2]; Gutiérrez, Diego R.[1,2] y Rodríguez, Silvia del C.[1,2,]

(1) ICyTA. Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Santiago del Estero-Argentina.

(2) Grupo Conservación de Alimentos Vegetales-CIBAAL-CONICET-UNSE. RN 9 Km 1125. El Zanjón. (CP 4206) - Santiago del Estero. Argentina.
silviadepece@hotmail.com

RESUMEN

Las berenjenas han recibido notable atención por ser una valiosa fuente de compuestos de alta capacidad antioxidante, tales como antocianinas y ácidos fenólicos. En la región del NOA se la produce y comercializa comúnmente como producto fresco y su demanda crece entre los consumidores preocupados por una dieta saludable. El principal problema de su procesamiento es el pardeamiento enzimático causado por la oxidación de compuestos fenólicos. Esto implica la pérdida de calidad sensorial y nutricional, resultando un factor limitante en su conservación. El objetivo de este trabajo fue estudiar la aplicación de la tecnología sous vide en berenjenas trituradas, evaluando las características sensoriales (apariencia general, pardeamiento, sabor y olor) con panel entrenado y el color objetivo a través de los parámetros L*, a* y b*, determinando también el índice de pardeamiento. De acuerdo a los resultados obtenidos, se determinó que las berenjenas trituradas conservaron las características sensoriales en niveles aceptables. Asimismo no se registraron variaciones significativas en el pardeamiento enzimático ni en el índice de pardeamiento. Por lo tanto, es factible aplicar la tecnología sous vide (90 °C-10 min) para la conservación de berenjenas trituradas y mantener su calidad sensorial durante 60 días a 3°C.

ABSTRACT

Eggplants have received considerable attention for being a valuable source of compounds with high antioxidant capacity, such as anthocyanins and phenolic acids. In the NOA region it is commonly produced and marketed as a fresh product and its demand is growing among consumers concerned about a healthy diet. The main problem of its processing is the enzymatic browning caused by the oxidation of phenolic compounds. This implies the loss of sensory and nutritional quality, resulting in a limiting factor in its conservation. The objective of this work was to study the application of sous vide technology in crushed aubergines, evaluating the sensory characteristics (general appearance, browning, taste and smell) with a trained panel and the objective color through the parameters L *, a * and b *, also determining the browning index. According to the results obtained, it was determined that the crushed aubergines conserved the sensory characteristics at acceptable levels. Likewise, no significant variations were recorded in enzymatic browning or browning index. Therefore, it is feasible to apply sous vide technology (90 ° C-10 min) to preserve crushed aubergines and maintain their sensory quality for 60 days at 3 ° C.

Palabras claves: berenjena, sous vide, pardeamiento, evaluación sensorial.

Keywords: eggplant, sous vide, browning, sensory evaluation.

1. INTRODUCCIÓN

La sociedad actual está cambiando de forma importante y por ende el perfil del consumidor relacionado con el sector agroalimentario. Con ello, surgen nuevas necesidades y nuevas preferencias, fundamentalmente se tiende a la compra de productos cómodos o de fácil preparación, saludables, ligeramente procesados, con un precio competitivo y que mantengan sus propiedades nutricionales y características sensoriales durante el período de comercialización. En ese sentido, la demanda de alimentos vegetales es creciente, tanto por parte del consumidor como por el sector de restaurantes y catering (Rodríguez et al., 2015b).

Los platos preparados con procesamiento térmico mínimo y conservados a temperatura de refrigeración (incluidos en la clasificación de alimentos V Gama) es uno de los mercados más prometedores de la alimentación y con una mayor demanda en muchos hogares (Dones, 2021). Por lo tanto, el procesado de hortalizas V gama conlleva la aplicación de un tratamiento térmico suave (entre 65 ºC y 90 ºC) seguido de un enfriamiento rápido y almacenamiento a temperaturas inferiores a 5°C.

La tecnología sous vide en francés es “cocción al vacío” y la cocción al vacío se define como " materias primas o alimentos intermedios que se cocinan bajo condiciones controladas de temperatura y tiempo al vacío dentro de bolsas termoestables” (Baldwin, 2012). Estos alimentos no son estériles y requieren refrigeración durante su vida útil, que suele ser de varias semanas. El sellado al vacío del producto en una bolsa de plástico evita que los nutrientes valiosos se pierdan por difusión a diferencia de la cocción convencional (Mirzaei et al. 2014, Adefegha y Oboh, 2011).

La vida útil de los productos sous vide es variable y se encuentra en el rango de 1 semana a 3 meses, dependiendo del alimento, el proceso particular, el perfil de temperaturas durante la conservación y las recomendaciones nacionales y regulaciones. El principal objetivo de esta tecnología es obtener productos con óptimas propiedades organolépticas y seguros, y el tratamiento térmico depende del tiempo y temperatura necesarios para cocinarlos (Balwin, 2012).

La mayor parte de hortalizas frescas presentan un pH mayor de 5, una actividad acuosa y nutrientes adecuados para el crecimiento de casi cualquier tipo de microorganismo. Las bacterias patógenas de mayor preocupación son *Listeria monocytogenes, Bacillus cereus* y *C. botulinum. Listeria monocytogenes* es un contaminante frecuente de los alimentos y tiene alta resistencia al calor en comparación con otras bacterias no formadoras de esporas, con la capacidad de crecer a bajas temperaturas y una mayor tolerancia a la baja actividad del agua y a la alta acidez que otras bacterias patógenas. *Bacillus cereus* y *C. botulinum* también se consideran que son los principales patógenos asociados con los alimentos procesados térmicamente, debido a la producción de esporas y toxinas. Por lo tanto, se puede suponer que si se controla la presencia y desarrollo de *C. botulinum, B. cereus* y *L. monocytogenes*, estarían controlados los otros patógenos (Carlin, 2014).

Se han realizado varios estudios de la aplicación de tecnología sous vide y su efecto sobre parámetros de calidad de diferentes productos como papaya (Soncco Cupita, 2020), frijoles (Iborra-Bernad et al. 2013), brócoli (Dones, 2021; Lafarga et al., 2018; Martinez-Hernández et al. 2013), coles de Bruselas (Chiavaro et al., 2012, Lafarga et al., 2018), repollo , coliflor (Lafarga et al. 2018), zanahoria (Chiavaro et al., 2012; Tansey et al., 2010; Kosewski et al. 2018), patatas, cebolla morada, tomate entre otros (Kosewski et al., 2018).

Las berenjenas (*Solanum melongena*) son hortalizas muy populares mundialmente. Son particularmente ricas en compuestos antioxidantes y fenólicos, especialmente antocianinas que se han relacionado con diversos beneficios para la salud.

Es un alimento con múltiples propiedades beneficiosas para el organismo y por ello es bueno incorporarlo a nuestra dieta.

En general, estos frutos son comercializados como productos frescos enteros, y más recientemente como productos mínimamente procesados (Barbagallo et al., 2012; Ghidelli et al., 2013).

La berenjena triturada es una excelente alternativa para incluir en diferentes preparaciones culinarias, creando oportunidades de valor agregado para los agricultores y procesadores que trabajan con esta hortaliza. Sin embargo, la calidad del producto se deteriora rápidamente debido al pardeamiento enzimático. Esta reacción afecta principalmente la apariencia del producto, atributo sumamente importante ya que es la primera impresión que el consumidor recibe y determina la aceptación y eventual compra del mismo (Rodríguez et al., 2015a).

El pardeamiento no sólo tiene efectos negativos en la apariencia, sino que también genera modificaciones en el sabor, olor, textura y características nutricionales. Según Lemos (2020), los cambios en la calidad nutricional y potencial saludable pueden ocurrir a consecuencia de la alteración del contenido de compuestos bioactivos como los compuestos fenólicos. Según lo informado por Plazas et al. (2013), la presencia de otros antioxidantes en berenjena como el ácido ascórbico, puede llegar a cumplir una función protectora frente al deterioro enzimático en algunas variedades.

El objetivo de este trabajo fue estudiar la aplicación de la tecnología sous vide en berenjenas trituradas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

a. *Preparación de las muestras*

Se trabajó con berenjenas de la variedad Black nite, cultivadas en la provincia de Santiago del Estero (Argentina), cosechadas en estado de madurez comercial y de calidad uniforme, las que inmediatamente de cosechadas se transportaron al laboratorio donde fueron procesadas.
Inicialmente se realizó una selección a fin de descartar los frutos que tuvieran algún defecto y se lavaron con agua potable. Posteriormente, las berenjenas enteras fueron desinfectadas por inmersión en una solución de hipoclorito de sodio (NaClO) a 150 ppm durante 3 minutos, se dejaron escurrir, y luego fueron peladas y cortadas en cubos de 2 cm de lado. Los frutos cortados se lavaron y dejaron escurrir. Luego, se trituraron con Multiprocesadora PHILLIPS 600W (1500-2000 rpm, tamaño de partícula 1,1 - 2,0 mm) y se agregó ácido ascórbico al 1% p/p durante la trituración. Se envasaron muestras con 100 g de producto en bolsas de polietileno de baja densidad (PE) de 80 µm de espesor y luego se realizó el vacío con una envasadora EHRLICH DZ-I6. Posteriormente, todas las muestras fueron pasteurizadas en un baño de agua (ALPHA RA 12) a 90 °C durante 10 minutos, en el punto frío. Estos baremos fueron establecidos de acuerdo a ensayos preliminares realizados por el grupo de investigación. Luego del tratamiento térmico se efectuó un enfriamiento rápido hasta una temperatura final de 3 °C en un tiempo total de aproximadamente de 20 minutos. Las temperaturas de proceso y de producto fueron monitoreadas permanentemente con una termocupla (TAYLOR). Posteriormente, las muestras se almacenaron a 3 °C durante 60 días. El pH final del producto fue 4,2, eliminado de esta manera el riesgo de ETA por *Clostridium Botulinum*. En la Fig. 1 se presenta el diagrama de proceso diseñado para el procesamiento sous vide de berenjenas trituradas.

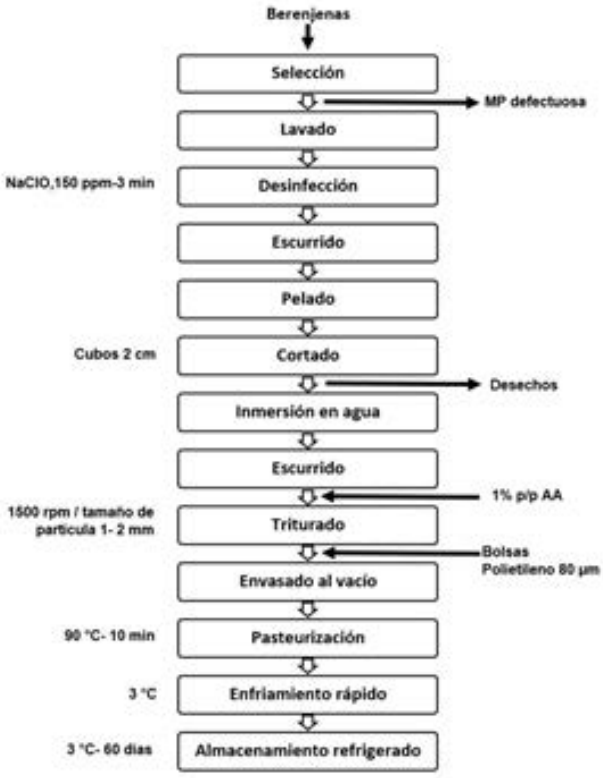


Figura 1. Diagrama del proceso para la obtención de berenjenas trituradas sous vide.

A intervalos de tiempo regulares se extrajeron 3 muestras cada vez para evaluar el color y las características sensoriales. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

b. *Análisis sensorial*

Un panel entrenado de diez jueces realizó la evaluación sensorial de las muestras. Se aseguró que los degustadores seleccionados tengan la habilidad de repetir los juicios, lo que se traduce en seguridad sobre los resultados obtenidos en la investigación. Se acordó evaluar los siguientes descriptores: apariencia general, pardeamiento, sabor y olor. Para los descriptores apariencia general y pardeamiento se utilizó una escala estructurada de 9 puntos, correspondiendo para el primer atributo: 9 (excelente) a 1 (muy mala), estableciéndose como límite de aceptabilidad el valor de 5 (buena); y para el segundo: un valor de 9 (sin pardeamiento) y el valor de 1 (muy pardo), estableciéndose nuevamente como límite de aceptabilidad el valor de 5. Para el sabor y olor se utilizó la escala de 5 puntos, correspondiendo el valor de 5 (muy bueno) a 1 (desagradable), siendo el límite de aceptabilidad el valor de 3 (bueno).
Este criterio de considerar el fin de la vida útil cuando

alguno de los atributos presenta un puntaje por debajo del 50 % de la escala ha sido utilizado por varios autores (Rodríguez y Generoso, 2012; Rodríguez et al. 2015; Torales, 2016).

c. Evaluación del color

El color se midió mediante el método triestímulo (espacio de color CIE L*a*b*), utilizando un colorímetro (MINOLTA CR 300) cubriendo un área de 1 cm^2 en las muestras. El dispositivo fue calibrado contra una placa blanca (Y: 91.59; X: 0.3147; y: 33.11). Cada muestra se midió por triplicado tomando tres puntos distintos en cada muestra.
Los parámetros de color graficados fueron la luminosidad (L) y el índice de pardeamiento (BI) utilizando la ecuaciones (Lunadei et al., 2011; Dussán-Sarria et al. 2017):

$$BI = \frac{100*(x-0{,}31)}{0{,}17} \quad (1)$$

dónde:

$$x = \frac{a^*+1{,}75L^*}{5{,}645L^*+a^*-3{,}102b^*} \quad (2)$$

d. Tratamiento estadístico de los datos

Los resultados fueron analizados por medio del Análisis de Varianza (ANOVA), y las medias se compararon por la prueba de diferencias mínima significativa (DMS) a un nivel de significancia de 0,05. El programa estadístico utilizado para realizar el análisis estadístico fue el Infostat Versión 2011.

3. RESULTADOS

a. *Análisis sensorial*

En el análisis sensorial, los valores de todos los atributos presentaron valores superiores al establecido como límite de aceptación, durante todo el periodo de almacenamiento.
La apariencia general de las muestras se mantuvo sin variaciones significativas hasta el día 45, luego se registró una disminución significativa del puntaje hasta el final del almacenamiento, tal como puede observarse en la Fig.2.

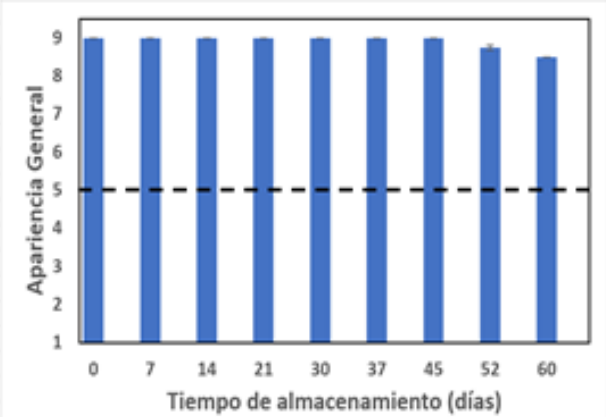


Figura 2. Evolución de la apariencia general de berenjenas trituradas con procesamiento sous vide almacenadas a 3 °C durante 60 días. La línea horizontal punteada indica el límite de aceptación.

En cuanto al atributo pardeamiento, las muestras presentaron valores altos y próximos a 8, no registrándose diferencias significativas durante el periodo completo de almacenamiento, como muestra la Fig.3.

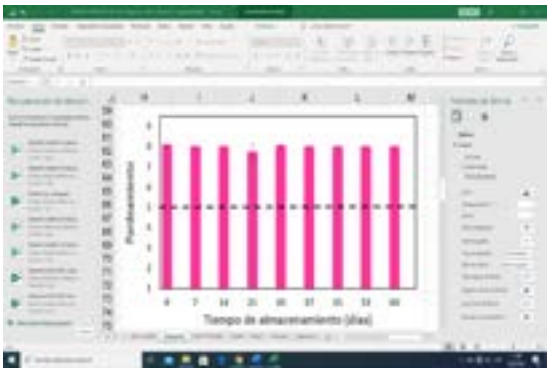


Figura 3. Evolución del pardeamiento de berenjenas trituradas con procesamiento sous vide y conservadas a 3 °C durante 60 días. La línea horizontal punteada indica el límite de aceptación.
En la Fig. 4 se presenta una imagen correspondiente al producto a los 60 días de almacenamiento refrigerado.



Figura 4. Berenjena triturada con procesamiento sous vide.

Para el sabor, el puntaje fue disminuyendo progresivamente desde el inicio hasta los 37 días, a partir del cual permaneció sin variaciones significativas ($P > 0,05$) hasta el final del almacenamiento, como se muestra en la Fig.5. Los jueces opinaron que las muestras eran aceptables y presentaban el sabor característico de berenjena cocida aún a los 60 días.

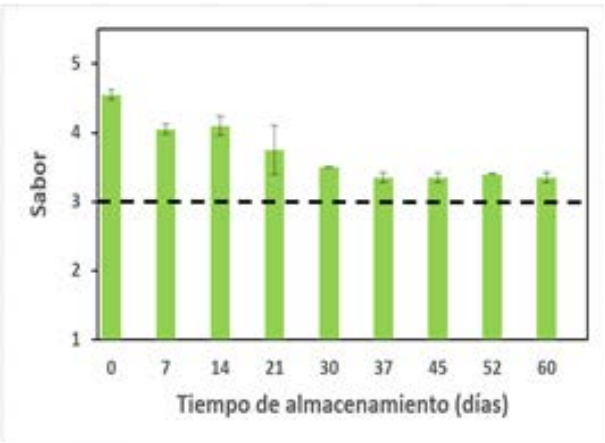


Figura 5. Evolución del sabor de berenjenas trituradas con procesamiento sous vide y almacenadas a 3 °C durante 60 días. La línea horizontal punteada indica el límite de aceptación.

Respecto del olor, se observó que hasta el día 21 las muestras mantuvieron los puntajes iniciales, presentando un aroma típico a berenjena cocida. Posteriormente, el producto desarrolló aromas más intensos, pero manteniéndose en valores aceptables, como se observa en la Fig.6.

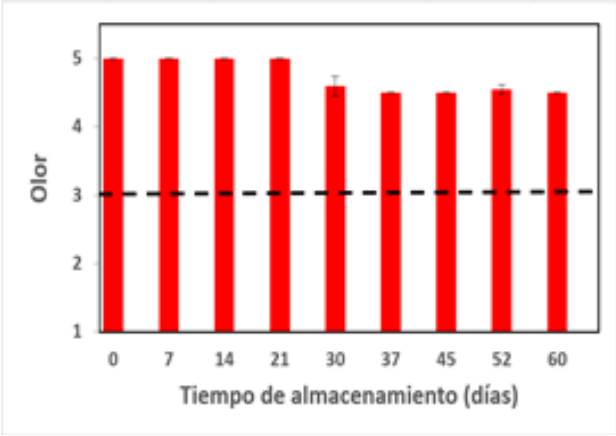


Figura 6. Evolución del olor de berenjenas trituradas con procesamiento sous vide y almacenadas a 3 °C durante 60 días. La línea horizontal punteada indica el límite de aceptación.

b. *Evaluación del color*

Como se mencionó previamente, el pardeamiento enzimático es uno de los principales problemas del pardeamiento de esta hortaliza, por lo tanto medir la evolución de los parámetros de color es fundamental para evaluar el efecto del porcesamiento.
Según Zaro (2014), la evolución de la luminosidad (L*) es un buen indicador del pardeamiento interno de las berenjenas frescas enteras durante el almacenamiento refrigerado. En coincidencia, Lemos (2000) también ratificó que la variación de L* permite evaluar el progreso del pardeamiento en berenjenas cortadas en láminas mínimamente procesadas.
En las muestras de las berenjenas trituradas sous vide no se observaron diferencias significativas ($P > 0,05$) de este parámetro durante el almacenamiento, como se muestra en la Fig.7.

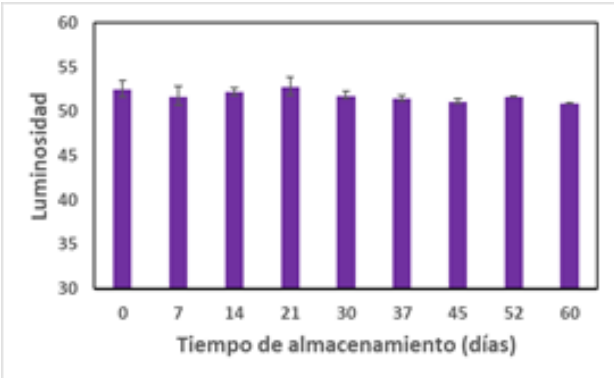


Figura 7. Evolución de la luminosidad de berenjenas trituradas con procesamiento sous vide y almacenadas a 3 °C durante 60 días.

Por otra parte, como puede observarse en la Fig 8 el parámetro BI si bien presentó algunas variaciones, estas no fueron importantes, ya que al final del almacenamiento no se registraron diferencias significativas con respecto a los valores del inicio de la conservación (P > 0,05), en coincidencia con datos registrados en la evaluación sensorial de los atributos apariencia general y pardeamiento.

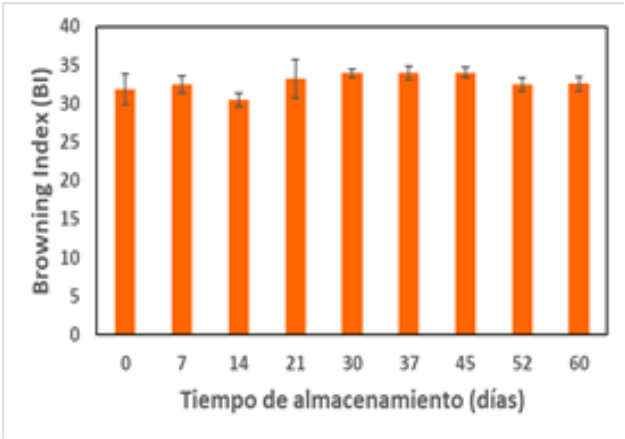


Figura 8. Cambios del índice de pardeamiento de berenjenas trituradas con procesamiento sous vide y almacenadas a 3 °C durante 60 días.

4. CONCLUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos, es factible utilizar la tecnología sous vide para elaborar berenjenas trituradas. Este proceso de cocción al vacío (90 °C durante 10 minutos) permitió obtener un producto de calidad sensorial aceptable durante 60 días si es almacenado bajo refrigeración a 3 °C. Además, el proceso propuesto con el agregado de 1% de ácido ascórbico permitió controlar, la principal reacción de deterioro en la berenjena: el pardeamiento enzimático.

Se considera entonces, que el proceso diseñado en este estudio para el procesamiento sous vide de berenjenas trituradas es una buena opción para obtener un producto de prolongada vida útil y listo para usar o consumir.

5. REFERENCIAS

Adefegha, S. A., Oboh, G. Cooking enhances the antioxidant properties of some tropical green leafy vegetables. *African Journal of Biotechnology*, 4, 632-639, 2011.

Balwin, D. Sous vide cooking: A review. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 1, 15-30, 2012.

Barbagallo, R., Chisarib, M., Patanèc, C. Use in vivo of natural anti-browning agents against polyphenol oxidase activity in minimally processed eggplant. *Chemical Engineering Transactions*, 27, 2012.

Chiavaro, E., Mazzeo, T., Visconti, A., Manzi, C., Fogalino, V., Pellegrini, N. Nutritional quality of Sous-Vide cooked carrots and brussels sprouts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60, 6019-6025, 2012.

Dones, C. *Influence du Traitement culinaire (sous vide) sur la qualité des produits alimentaires*.Université Technique de Moldavie, Faculté de Technologie Alimentaire, Département de l'Alimentation et de la Nutrition, Chisinau, République de Moldova, 2021.

Dussán-Sarria, S., Gaona-Acevedo, A. F, Hleap-Zapata, J. I. Efecto del Uso de Antioxidantes en plátano verde dominico hartón cortado en rodajas. *Información Tecnológica*, 28, 3-10, 2017.

Ghidelli, C., Mateos, M., Rojas-Argudo, C., Pérez-Gago, M. Effect of antioxidants on enzymatic browning of eggplant extract and fresh-cut tissue. *Journal Food Processing and Preservation*, 38, 1501-1510, 2013.

Iborra-Bernad, C.; Philippon, D.; García-Segovia, P.; Martínez-Monzó, J. Optimizing the texture and color of sous-vide and cook-vide green bean pods. *Food Science and Technology*, 51, 507-513, 2013.

Kosewski, G.; Górna, I.; Bolesławska, I.; Kowalówka, M.; Więckowska, B.; Główka, A.; Morawska, A.; Jakubowski, K.; Dobrzyńska, M.; Miszczuk, P.; Przysławski, J. Comparison of antioxidative properties of raw vegetables and thermally processed ones using the conventional and sous-vide methods, *Food Chemistry*, 240, 1092-1096, 2018.

Lafarga, T.; Bobo, G.; Viñas, I.; Zudaire, L.; Simó, J.; Aguiló-Aguayo, I. Steaming and sous-vide: Effects on antioxidant activity, vitamin C, and total phenolic content of Brassica vegetables. *International Journal of Gastronomy and Food Science*,13, 134-139, 2018.

Lemos, M.L. Efecto de la aplicación de barreras múltiples en la fisiología y conservación de berenjenas (Solanum melongena L.) IV Gama. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Santiago del Estero, Argentina, 290 pp, 2020.

Lunadei, L., Galleguillos, P., Diezma, B., Lleó, L. y Ruiz-Garcia, L. A multispectral vision system to evaluate enzymatic browning in fresh-cut apple slices. Postharvest Biology and Technology, 60, 225-234, 2011.

Martinez-Hernández, G.B., Artés- Hernández, F., Colares-Souza, F., Gómez, P.A., Garcia- Gómez, P., Artés, F. Innovative cooking techniques for improving the overall quality of Kailan-Hybrid Broccoli. *Food Bioprocess Technology*, 6, 2135-2149, 2013.

Mirzaei, A., Delaviz, H., Mohammadi, H. The effects

of cooking methods on antioxidant activity and phenol content in vegetables. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 3, 242-252, 2014.

Plazas, M., López-Gresa, M., Vilanova, S., Torres, C., Hurtado, M., Gramazio, P., Andújar, I., Herraiz, F., Belles, J., y Prohens, J. Diversity and relationships in key traits for functional and apparent quality in a collection of eggplant: fruit phenolics content, antioxidant activity, polyphenol oxidase activity, and browning. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61, 8871-8879, 2013.

Rodríguez, S del C., Generoso, S. M., Gutierrez, D.R, Questa, A.G. Aplicación del análisis sensorial en la evaluación de la calidad de productos frescos cortados. *Sociedad Agronómica de Chile*, 85, 21-38, 2015a.

Rodríguez, S. del C., Gutiérrez, D., Sgroppo, S. C. Productos vegetales de IV gama. Aspectos generales. *Revista Simiente*, 85, 1-12, 2015b.

Rodríguez, S. del C., y Generoso, S. M. Evaluation of the sensorial quality of minimally processed fruits and vegetables. Recent contributions to sensory analysis of foods. Edir. *Research Signpost*, Kerala, India, 5, 67-84, 2012.

Soncco Cupita, W. Evaluación del efecto sous vide sobre el contenido de vitamina C, compuestos fenólicos, firmeza y color de la papaya de altura (Carica pubescens) en rodajas. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Puno, Perú, 2020.

Tansey, F.; Gormley, R.; Butlera, F. The effect of freezing compared with chilling on selected physico-chemical and sensory properties of sous vide cooked carrots. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11, 137-145. 2010.

Torales, A. C. Efecto de atmósferas modificadas pasivas y activas en la conservación de una mezcla binaria de hortalizas mínimamente procesadas: rúcula y anco rallado. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Santiago del Estero, Argentina. 361 pp, 2016.

Zaro, M.J. Análisis de factores que afectan la acumulación, distribución y estabilidad de antioxidantes de naturaleza fenólica en berenjena (Solanum melongena L.). Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos (CIDCA). Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina, 2014.

GESTIÓN DE LA EDUCACIÓN EN INGENIERÍA



De la Serie a la Transformada de Fourier. Visualización del espectro de frecuencias utilizando GeoGebra

Herrera, Carlos Gabriel; Tula, Ramiro Joel; Gandini, Gustavo Adolfo

Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional de Catamarca.
cgherrera@tecno.unca.edu.ar; rtula@tecno.unca.edu.ar, gustavogandini62@yahoo.com.ar

RESUMEN

El uso de información visual de carácter dinámico puede resultar una herramienta de apoyo para la comprensión de conceptos matemáticos. Diversos autores consideran la visualización como una representación semiótica de un objeto matemático asociada a las estructuras mentales que el alumno desarrolla al respecto. El software GeoGebra permite mediante sus vistas algebraicas y geométricas relacionar o coordinar distintos registros semióticos de representación de un objeto matemático. En ese sentido se diseñó un applet de GeoGebra que permita visualizar el espectro de frecuencias para distintos valores del período de la función periódica que se aproxima mediante una serie trigonométrica de Fourier. El mismo permite observar en la vista geométrica de GeoGebra, como los puntos que representan las distintas frecuencias de las armónicas de la Serie Trigonométrica de Fourier se acercan a medida que el período de la función periódica se incrementa, etapa previa a la conceptualización de la Transformada de Fourier para una función no periódica convirtiéndose el espectro en una función contínua. La herramienta diseñada se está aplicando en los cursos de curso de cálculo de las carreras de Ingeniería en la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca y se comentan algunos resultados preliminares.

Palabras claves: Fourier, Espectro, Transformada, GeoGebra

ABSTRACT

Visual information can be used as a support tool for the understanding of mathematical concepts. Visualization is consider a semiotic representation of a concept, associated with the mental structures that the learner develops respect to the study concept. In this sense, GeoGebra software allows the coordination of algebraic and geometric registers of representation of a mathematical objetct.. In this sense, a GeoGebra applet was designed to visualize the frequency spectrum for different values of the period of the function that is approximated by a trigonometric Fourier series. It can be observed in the geometric view of the designed applet, how the points that represents the frecuenty spectrum become nearer as the period function increases, wich is a previous stage in the conceptualization of the Fourier Transform for a non-periodic function. At this point, the spectrum become a continuous function. The designed tool is being applied in the calculus courses of the engineering careers at the Faculty of Technology and Applied Sciences of the National University of Catamarca. Preliminary results of this experience are discussed.

Keywords: Fourier, Spectrum, Transform, GeoGebra.

1. INTRODUCCIÓN

Los conceptos de Series de Fourier y Transformadas de Fourier corresponden al tercer curso de cálculo de las carreras de Ingeniería en la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca. La conceptualización de ambos temas requiere conocimientos previos de álgebra lineal como espacios vectoriales con producto interior, funciones periódicas y sus conceptos asociados amplitud, período y frecuencias. El espectro de frecuencias de una serie de Fourier requiere la interpretación del cambio de variable tiempo por variable frecuencias para cada componente armónica de la serie, resultando un conjunto de puntos en el sistema amplitud en función de frecuencias. La modificación del período de la función periódica implica que se modifiquen las frecuencias de esta representación gráfica.

Teniendo en cuenta las dificultades observadas en los estudiantes en la comprensión conceptual de la Transformada de Fourier se ha trabajado en el diseño de applets de software dinámico GeoGebra de manera que el alumno pueda interpretar el espectro de frecuencias de funciones periódicas para distintos valores del período T y la transformada de Fourier cuando T tiende a infinito.

No existe mucha bibliografía respecto a esta temática desde el punto de vista de la educación, pudiéndose citar los trabajos de Urista, Gallardo y Flores Macías (2007) que analizan las conceptuaciones alrededor de la serie de Fourier de un grupo de estudiantes a través de sus representaciones matemáticas, Romero y Farfán Marquez (2016) utilizan el software GeoGebra en la visualización de la convergencia de Serie Trigonométrica de Fourier al igual que el trabajo de Valencia Bustamente (2001). En Guo, Li y Ning (2020) se vinculan gráficamente la Transformada con la Serie de Fourier logrando de esa manera superar dificultades cognitivas en la interpretación del concepto. En Salvat (2007) se presenta una formulación compacta entre las distintas variantes del análisis de Fourier (Serie de Fourier, Transformada continua de Fourier y Transformada discreta de Fourier) y las relaciones entre ellas. Se presentaron programas para el cálculo interactivo de transformadas de Fourier de funciones de una variable y de imágenes bidimensionales pudiéndose utilizar como herramientas de aprendizaje.

En este trabajo se utilizan las vistas geométricas del software GeoGebra para representar el espectro de frecuencias de una Serie Trigonométrica de Fourier que aproxima a una función periódica específica. El carácter dinámico del software permite modificar los valores del período T de la función periódica, lo que determina una modificación del espectro referido, siendo importante en la comprensión global del concepto para poder realizar las relaciones entre funciones periódicas, Serie de Fourier, funciones no periódicas y Transformadas de Fourier. En el curso 2021, que se realizó totalmente en forma remota, se ha utilizado este recurso tecnológico durante el dictado de los temas correspondientes a Series Trigonométricas de Fourier y la Transformada de Fourier. Teniendo en cuenta estos antecedentes se describe en este trabajo un applet de GeoGebra que permite visualizar el espectro de frecuencias de una función periódica y la transición hacia la Transformada de Fourier para una función no periódica partiendo de la premisa que la visualización geométrica permite a los alumnos mejorar la comprensión conceptual del tema abordado.

2. VISUALIZACIÓN MATEMÁTICA

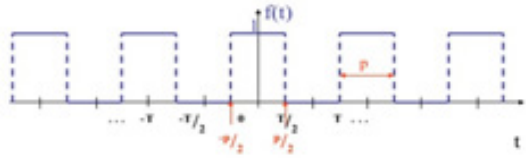
El uso de información visual en la enseñanza de las matemáticas puede servir de apoyo para mejorar la comprensión de conceptos en estudio, en ese sentido se hace necesario analizar lo que se denomina visualización matemática. Duval (2002) diferencia visión de visualización. La visión es la percepción directa de un objeto espacial, necesita exploración mediante movimientos físicos del sujeto o del objeto que se mira, porque nunca da una aprehensión completa del objeto mientras que la visualización es la representación semiótica de un objeto. Permite comprender sinópticamente cualquier organización como una configuración, haciendo visible lo que no es accesible a la visión así como aprehender globalmente cualquier organización de relaciones. El mismo autor Duval (1998) sostiene que los objetos matemáticos solo son accesibles mediante sus respectivos registros de representación; siendo fundamental en el proceso de aprendizaje que los alumnos logren identificar un objeto matemático a través de ellos y de este modo logren coordinar dichos registros a través de actividades cognitivas de tratamiento y conversión. "Las representaciones semióticas son producciones constituidas por el empleo de signos que pertenecen a un sistema de representación. Una figura geométrica, un enunciado en lenguaje natural, una fórmula algebraica, una gráfica, son representaciones semióticas que pertenecen a sistemas semióticos diferentes" (Duval, 1998, p75).

Zimmerman y Cunningham (1991, p3) definen "La visualización en matemática es un proceso para formar imágenes mentales, con lápiz y papel, o con la ayuda de tecnología y utilizarla con efectividad para el descubrimiento y comprensión de nociones matemáticas". En el mismo sentido Tall y Vinner (1981, p152) definen "Visualización o imagen de un concepto, es la estructura cognitiva total asociada al concepto, que incluye todas las imágenes mentales y

propiedades y procesos asociados," Otra definición expresa que "Visualización es la capacidad, el proceso y el producto de la creación, interpretación, uso y reflexión sobre figuras, imágenes, diagramas, en nuestra mente, sobre el papel o con herramientas tecnológicas con el propósito de representar y comunicar información, pensar y desarrollar ideas y avanzar la comprensión" (Arcavi, 2003, p217). Las definiciones citadas enfatizan el concepto de visualización más amplio de lo que se puede percibir por los ojos, poniendo énfasis en que se trata de una representación mental, dándole sentido a los conceptos matemáticos. Es decir, la visualización se puede considerar como una componente fundamental en el aprendizaje de las matemáticas, que puede ser potenciado con el uso de diferentes tecnologías, como por ejemplo el uso de un entorno dinámico permite identificar objetos matemáticos y establecer relaciones entre diferentes representaciones semióticas de dicho objeto.

3. METODOLOGÍA

La propuesta se realizó con alumnos que cursaron la asignatura Cálculo Avanzado de las carreras de Ingeniería de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca, cohorte 2020, que trabajó totalmente en forma remota. La actividad principal a realizar por los alumnos consistió en determinar analíticamente los coeficientes C_n de la serie compleja de Fourier para distintos períodos T y graficarlos en función de la frecuencia fundamental $n\omega_o$. Estas actividades fueron realizadas primeramente a través de una planilla de cálculo, posteriormente se compararon los resultados obtenidos utilizando el software GeoGebra, que por su versatilidad permite modificar el período de la función periódica. En Fig 1 se indica la función utilizada:



$$f(t)=\begin{cases}0 & \frac{-T}{2}<t<\frac{-P}{2}\\ 1 & \frac{-P}{2}<t<\frac{P}{2}\\ 0 & \frac{P}{2}<t<\frac{T}{2}\end{cases}$$

Fig 1: Pulso unitario de período T y ancho P.

Es importante remarcar que para lograr la comprensión del concepto el alumno debe trabajar con distintos periódos T, ya que al ser inversamente proporcional a la Frecuencia ω, permite visualizar como se modifica el espectro de frecuencias a medida que se incrementa el período. En este caso los valores de las abscisas $n\omega_o$ que corresponden a los pares ordenados ($n\omega_o$, $C_{n)}$ del espectro, disminuyen su valor a medida que se incrementa el período T. En el caso de un solo pulso, la función sería no periódica correspondiendo a un pulso unitario, el período T sería infinito y el espectro sería una función contínua, no discreta como en el caso de T finito.

Se utilizó para el trabajo remoto la plataforma Moodle de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca, donde los alumnos podían descargar el material didáctico, las actividades obligatorias y los applets de GeoGebra que debían utilizar. Estas actividades se complementaron con actividades sincrónicas como encuentros por sistema de video conferencias Google-Meet.

El objetivo de esta actividad consistió en que el alumno complemente la información visual con formulación analítica del concepto permitiendo mejorar su comprensión.

En Fig. 2 se presenta una captura de pantalla del applet de GeoGebra diseñado, donde se pueden observar una vista algebraica y dos vistas geométricas.

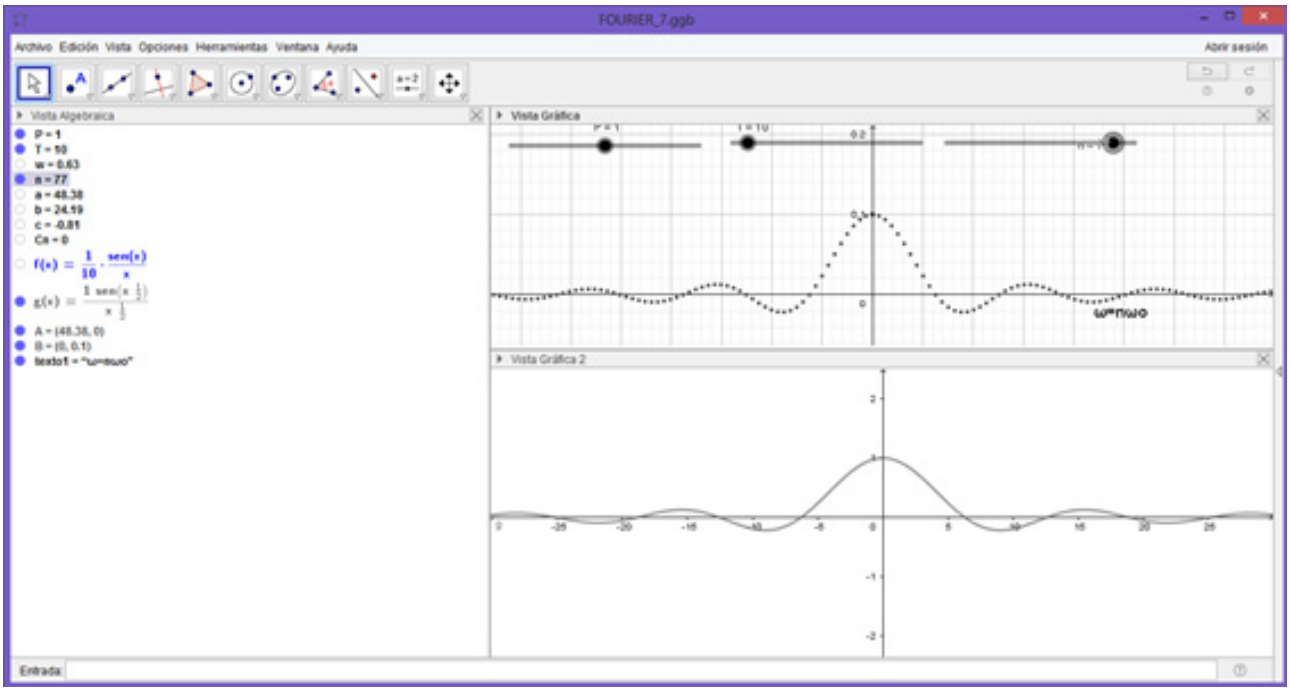


Figura 2: Captura de pantalla de applet diseñado.

En vista algebraica se observan período *T*, frecuencia fundamental ω_o, coeficiente C_n de la Serie Compleja de Fourier. En la vista Gráfica 1 se observa el espectro de frecuencias, es decir el gráfico de los pares ordenados $(n\omega_o, C_n)$ para los distintos valores de n. Los tres deslizadores que se observan permiten modificar el ancho del pulso P, el período *T* y el valor de "*n*" que se puede animar, es decir mostrar dinámicamente como se modifica y como se grafican los puntos correspondientes. En la segunda vista gráfica en la parte inferior, se puede observar la transformada de Fourier de la función analizada.

4. ESPECTRO DE FRECUENCIAS DE FUNCIONES PERIÓDICAS

Se toma como ejemplo un tren de pulsos de amplitud unitaria, ancho P y período T según se observa en Fig. 3. En Figs. 4 y 5 se observa cuando se duplica el período T y cuando T tiende a infinito respectivamente. En este último caso se trata de un único pulso, es decir que la función no es periódica.

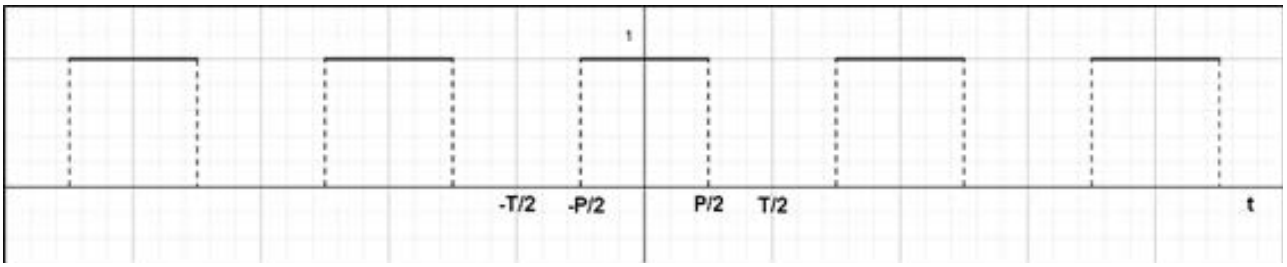


Figura 3: Tren de pulsos de amplitud unitaria, ancho *P*, período *T*.

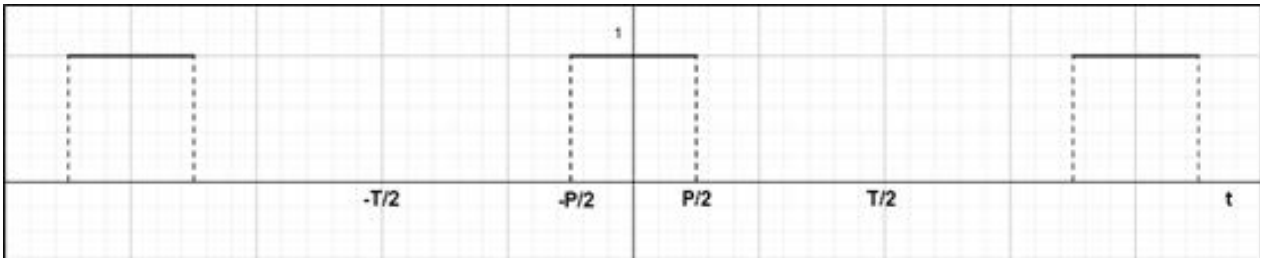


Figura 4: Tren de pulsos de amplitud unitaria, ancho *P*, período *2T*.

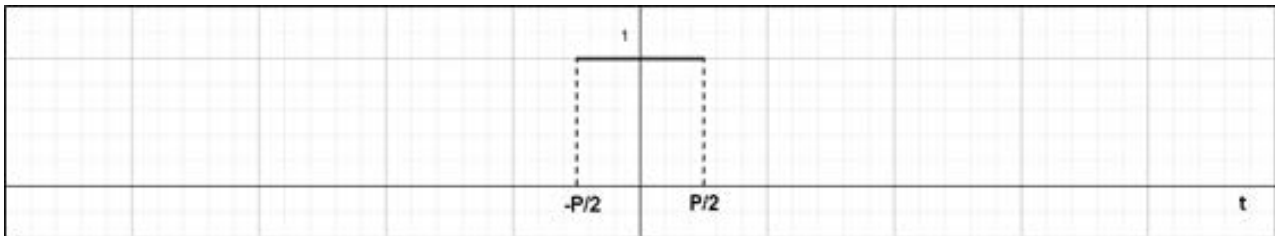


Figura 5: Pulso unitario, ancho P.

El espectro de amplitud de esta función consiste en graficar los coeficientes de la serie compleja de Fourier C_n respecto a las frecuencias $\omega = n\omega_o$. Los valores de los coeficientes C_o y C_n son los siguientes

$$C_o = \frac{P}{T} \quad (1)$$

$$C_n = \frac{P}{T}\frac{sen\,(n\omega_o\, P/2)}{n\omega_o\, P/2} \quad (2)$$

En O´Neil (2012) se define al espectro de amplitud de una Serie de Fourier compleja de una función periódica a la gráfica de los puntos $(n\omega_o)$, $|C_n|$) donde $|C_n|$ es la magnitud del coeficiente complejo C_n. De manera similar lo define Sundararajan (2009) utilizando otra notación, pero sin diferenciar desde el punto de vista conceptual.

5. VISUALIZACIÓN EN GEOGEBRA

En la vista Geométrica de GeoGebra se puede visualizar el espectro de frecuencias $(C_n, n\omega_o)$ según se observa en Fig. 6. El applet diseñado permite la visualización del espectro de frecuencias para distintos valores del período T que se modifica fácilmente utilizando los deslizadores del aplicativo. En Fig. 7 a 9 se observan los espectros para T= 4, T=10, T=20. Para su mejor visualización se han modificado las escalas de amplitud.

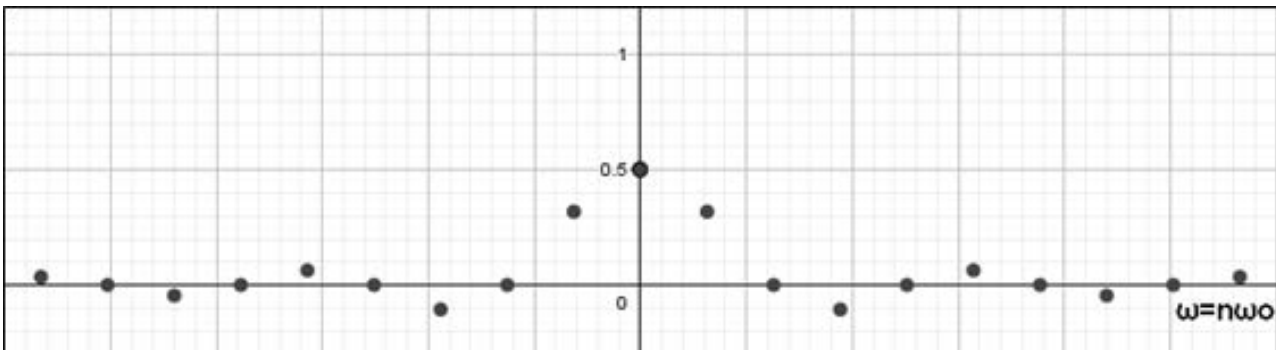


Figura 6: espectro de Frecuencias para tren de pulsos de amplitud 1, *P=1, T=2.*

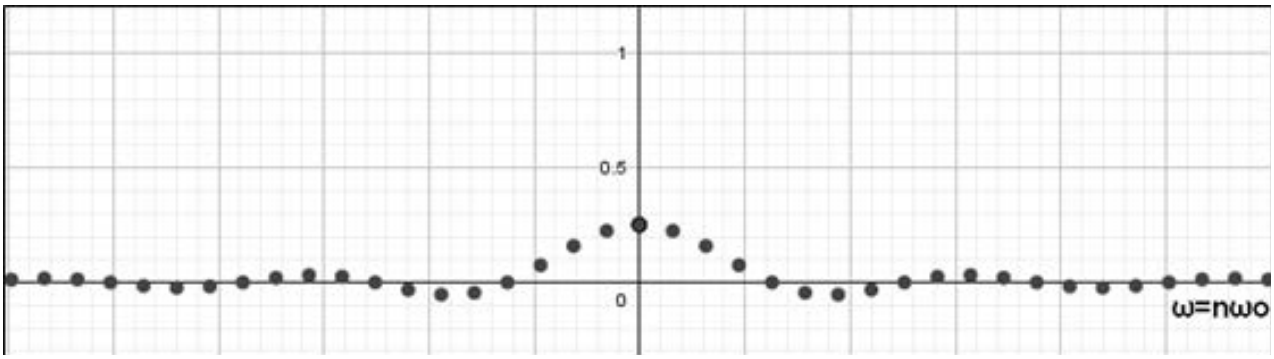


Figura 7: espectro de Frecuencias para tren de pulsos de amplitud 1, *P=1, T=4.*

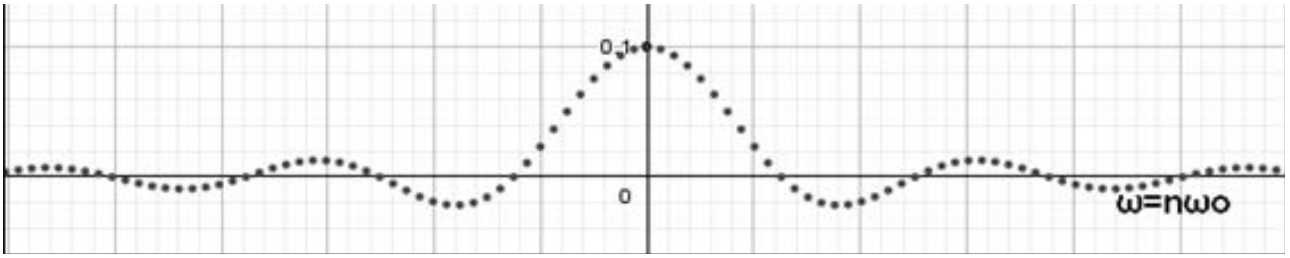


Figura 8: espectro de Frecuencias para tren de pulsos de amplitud 1, *P=1, T=10*.

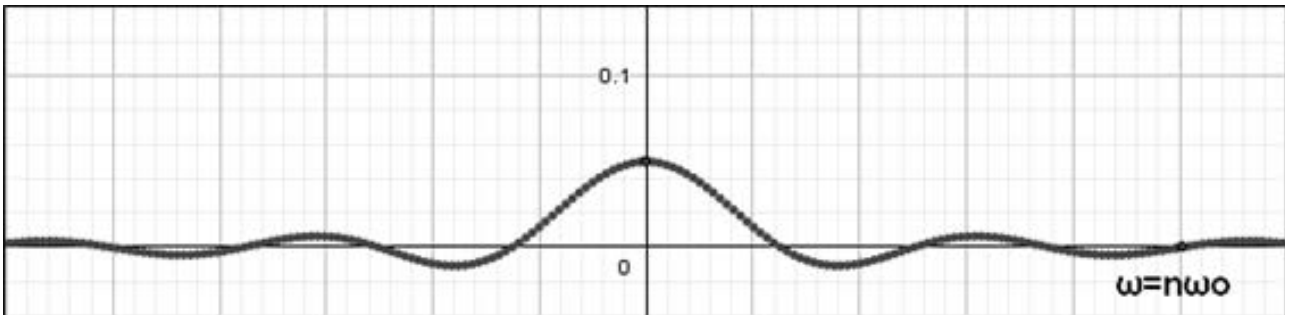


Figura 9: espectro de Frecuencias para tren de pulsos de amplitud 1, *P=1, T=20*.

La transición desde *T*=2 que corresponde con el tren de pulsos de Fig. 1 con el pulso unitario de Fig. 3 permite visualizar dinámicamente los distintos espectros de frecuencias, funciones discretas para distintos valores de *T*. Cuando *T* tiende a infinito, es decir la función no es periódica y se trata de un pulso único, el espectro de frecuencias se convierte en una función continua, que al multiplicarla por el período T corresponde a la Transformada de Fourier. Conceptualmente es importante que el alumno interprete previamente las series trigonométricas y complejas de Fourier y como las frecuencias del espectro disminuyen a medida que se incrementa el período *T*.

6. RESULTADOS PRELIMINARES

Los resultados preliminares de esta experiencia didáctica indican que los alumnos conceptualizan el proceso de transformada de Fourier de una función en un dominio tiempo a otra función en un dominio frecuencias, teniendo en cuenta que la función no es periódica. Ello se logra porque la vista geométrica permite la visualización de un registro semiótico de representación del espectro de frecuencias y como el mismo se modifica al modificar el período de la función periódica *T*, coordinando con la formulación algebraica de la Transformada de Fourier a partir de la serie compleja que aproxima a una función no periódica.

Es importante remarcar la importancia de la visualización del espectro de frecuencias de una serie compleja que aproxima a una función periódica, logrando de esa manera conceptualizar la formulación algebraica de la Transformada de Fourier a medida que el período *T* se incrementa. No existe bibliografía sobre el uso de este recurso didáctico en el tema en estudio, pero si lo hay para otros conceptos matemáticos recalcando la importancia de este tipo de software que permite la coordinación de diferentes registros semióticos de representación de un objeto matemático.

7. CONCLUSIONES

En el proceso cognitivo de aprendizaje de la Transformada de Fourier se ponen en juegos conceptos matemáticos diversos. El espectro de frecuencias de una serie trigonométrica de Fourier para distintos valores del período T es una transición entre los conceptos de Serie y Transformada de Fourier. En ese sentido se puede afirmar que el carácter dinámico del software permitiría al alumno interpretar por que el espectro de frecuencias se densifica a medida que se incrementa el período T, obteniéndose la Transformada de Fourier cuanto T tiende a infinito, es decir una función no periódica. Una de las ventajas del uso de software dinámico GeoGebra es la posibilidad de establecer conexiones entre diferentes registros semióticos de representación de un objeto matemático. En los applets presentados se ha puesto énfasis en la representación geométrica de los conceptos y en el cálculo de los coeficientes de la serie compleja de Fourier para lograr coordinar ambos registros. Futuras experiencias pueden ayudar a realizar un análisis más profundo de los desempeños de los alumnos.

Se pretende para continuar con esta investigación realizar modificaciones al applet diseñado de manera que se puedan incluir otras funciones periódicas complementándolo con casillas de autoevaluación.

El uso de las nuevas tecnologías permite dar un significado a las nociones matemáticas. Por ello es necesario el diseño de nuevos materiales utilizando nuevas tecnologías para afianzar la comprensión y lograr aprendizajes significativos.

8. REFERENCIAS

Arcavi, A. (2003). The role of visual representations in the learning of mathematics, *Educational Studies in Mathematics*, 52(3), pp. 215-24. https://doi.org/10.1023/A:1024312321077

Beerends, R. J., Morsche, H. T., & Berg, J. C. (2003). Van den and Vri, EM Van de. *Fourier and Laplace Transforms*.

Duval, R. (1998). Registros de representación semiótica y funcionamiento cognitivo del pensamiento. Hitt F.(Ed.), Investigaciones en Matemática Educativa II, 173–201. *México. Cinvestav*.

Duval, R. (2002). Representation, Vision and Visualization: Cognitive Functions in Mathematical Thinking. Basic Issues for Learning. En F. Hitt, (ed.), Representations and Mathematics Visualization, (pp. 311-335). *North American Chapter of PME: Cinvestav-IPN.* 2002

Guo, S., Li, J., & Ning, Z. (2020, June). Graphical Representation of Fourier Series from Fourier Transformation. In *2020 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Computer Applications (ICAICA)* (pp. 621-624). IEEE.

Lathi, B. P., & Green, R. A. (2005). *Linear systems and signals* (Vol. 2). New York: Oxford University Press.

O'neil, P. V., & Garciadiego, C. H. (2008). Matemáticas avanzadas para ingeniería.

Romero, F., & Farfán, R. (2016). Visualizando la convergencia de la serie trigonométrica de Fourier. *Investigación e Innovación en Matemática Educativa*, *1*, 535-542.

Salvat, F. (2008). Fourier Analysis and the Fast Fourier Transform. *Optica pura y aplicada*, *41*(1), 31-41.

Sundararajan, D. (2009). *A practical approach to signals and systems*. John Wiley & Sons.

Tall, D. y Vinner, S. (1981). Concept Image and Concept Definition in Mathematics with particular reference to Limits and Continuity, *Educational Studies in Mathematics,* 12, pp. 151–169. https://doi.org/10.1007/BF00305619

Muro Urista, C. R., Camarena Gallardo, P., & Flores Macías, R. D. C. (2007). Conceptuaciones matemáticas en la modelación de un proceso físico. *Educación matemática*, *19*(3), 65-90.

Valencia, J. (2001). Visualización gráfica de n-ésimas sumas parciales de series de Fourier.

Zimmermann, W., y Cunningham, S. (1991). What is Mathematical Visualisation? In Zimmerman, W. & Cunningham, S. (Eds), Visualisation in Teaching and Learning Mathematics, pp. 1-9.

Enseñanza de Ingeniería de Software desde la perspectiva de la gestión estratégica

Doria, María Vanesa[1]; Haustein, María Carolina[1]; Lazarte, Ivanna Maricruz[1] y Flores, Carola Victoria[1]

(1) Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional de Catamarca.

vanesadoria@tecno.unca.edu.ar; caro-h@tecno.unca.edu.ar; ilazarte@tecno.unca.edu.ar; carolaflores@tecno.unca.edu.ar

RESUMEN

En la actualidad, tanto la industria como la academia reconocen la mejora de procesos en el desarrollo de sistemas informáticos, desde una mirada estratégica. En este trabajo se presentan los aspectos más relevantes de la gestión estratégica que se deben contemplar en la enseñanza de la Ingeniería de Software, teniendo en cuenta que la mirada estratégica es una habilidad que todo futuro Ingeniero en Informática debe adquirir para satisfacer las necesidades tecnológicas de la sociedad a partir de la obtención de procesos más eficientes. Por consiguiente la enseñanza de la Ingeniería de Software desde la perspectiva de la gestión estratégica abarca los activos del proceso, de conocimiento (mercado y capital intelectual). Esta línea de trabajo se enmarca en el proyecto “Promover la Gestión Estratégica desde la Ingeniería de Software” que tiene como objetivo principal estudiar la gestión estratégica desde los siguientes factores: Humano, Conocimiento; de Información y TIC. El proyecto fue presentado en las convocatorias del Programa de Desarrollo Científico y Tecnológico para Proyectos de Investigación perteneciente a la Secretaría De Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Catamarca y ejecutado en el periodo 2019-2021.

ABSTRACT

At present, the improvements of processes in the development of computer systems from a strategic point of view have been recognized, both by the industry and by the academy. This paper presents the most relevant aspects of strategic management that should be considered in the teaching of Software Engineering, considering that the strategic look is a skill that every future Computer Engineer must acquire to satisfy the technological needs of society, from obtaining more efficient processes. Therefore, the teaching of Software Engineering from the perspective of strategic management encompasses the assets of the process, of knowledge (market and intellectual capital). This line of work is part of the project "Promote Strategic Management from Software Engineering" whose main objective is to study strategic management from the following factors: Human, Knowledge; Information and ICT, the project was presented in the calls of the Scientific and Technological Development Program for Research Projects belonging to the Secretariat of Science and Technology of the National University of Catamarca with execution in the period 2019-2021.

Palabras claves: enseñanza, ingeniería de software, gestión estratégica

Keywords: teaching, software engineering, strategic management

1. INTRODUCCION

A partir de la reflexión sobre la existencia de una brecha entre lo que se enseña en el aula de clase de carreras de Ingeniería en Informática y la realidad del desarrollo de software con visión estratégica en las organizaciones, es que el Consejo Federal de Decanos de Facultades de Ingeniería (CONFEDI) ha establecido trabajar en el enfoque basado en competencias. CONFEDI (2017) define competencia como "la capacidad de articular eficazmente un conjunto de esquemas (estructuras mentales) y valores, permitiendo movilizar (poner a disposición) distintos saberes, en un determinado contexto con el fin de resolver situaciones profesionales".

En consecuencia, se aborda la gestión estratégica en la enseñanza por competencias de la Ingeniería de Software (IS).

El trabajo se organiza de la siguiente manera: en la Sección 2 se presenta el marco teórico en torno a la IS. Luego, el área en la que se encuentra la IS en el plan de estudios de la carrera Ingeniería en Informática de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas (FTyCA) de la Universidad Nacional de Catamarca (UNCA). En la sección 3, se presenta el marco teórico de la gestión estratégica, desde la perspectiva de los activos del proceso y los activos de conocimiento, relacionados con la IS. En la sección 4 se describen las estrategias didácticas utilizadas para incorporar la gestión estratégica en la enseñanza de la IS y una breve descripción de las estrategias llevadas a cabo a partir de la pandemia que afectó a todas las actividades a nivel mundial.

2 INGENIERIA DE SOFTWARE

La construcción de la revisión literaria, en torno a la enseñanza de la IS incluye la conceptualización, su ubicación en el plan de estudios de la carrera Ingeniería en Informática de la FTyCA y las estrategias utilizadas en la enseñanza, de tal manera que se favorezca el desarrollo de competencias que debe adquirir el futuro ingeniero.

2.1 Definición de Ingeniería de Software

La IS ha sido objeto de diferentes definiciones:

Fritz Bauer utilizó el término por primera vez en la primera conferencia sobre desarrollo de software patrocinada por el Comité de Ciencia de la OTAN celebrada en Garmisch (Alemania) en 1968. Bauer define la IS como el establecimiento y uso de firmes principios y métodos de ingeniería para la obtención económica de software fiable y que funcione en máquinas reales (Nauer & Randell, 1969).

Pressman (Pressman, 2010), en alusión a Bauer, presenta la IS organizada en varias capas, como se muestra en la Fig. 1.



Figura 1: Capas de la Ingeniería de Software

Para Pressman el fundamento en el que se apoya la IS es el compromiso con la calidad, enfocada a la administración de la calidad y filosofías que alimentan la mejora continua. La capa de proceso de software forma la base para el control de la gestión de proyectos de software, se aplican métodos técnicos, se generan documentos, reportes, etc., se establecen puntos de referencia, se asegura la calidad y se administra el cambio y el control de riesgos. La capa métodos incluyen actividades de modelación y otras técnicas descriptivas como comunicación, análisis de los requerimientos, modelación del diseño, construcción del programa, pruebas y apoyo. La capa herramientas proporciona un apoyo automatizado o semi-automatizado para la capa de proceso y de métodos y apoya el desarrollo del software.

Otra definición difundida por el estándar ISO/IEC/IEEE 24765 (2017) es que la IS es:

1. La aplicación sistemática de conocimientos, métodos y experiencia científicos y tecnológicos al diseño, implementación, prueba y documentación de software.

2. La aplicación de un enfoque sistemático, disciplinado y cuantificable al desarrollo, operación y mantenimiento de software; es decir, la aplicación de la ingeniería al software.

En conclusión se puede decir que el principal objetivo de la IS, es la puesta en práctica de principios y metodologías que lleven a un desarrollo de software eficiente desde sus etapas iniciales hasta su implementación y mantenimiento, para ello es necesario realizar la gestión de los procesos de la IS y la gestión estratégica de los activos de un proyecto de desarrollo de software.

2.2 Ingeniería de Software en la carrera Ingeniería en Informática de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas – UNCA

La FTyCA de la UNCA con el objeto de prestar conformidad a la propuesta de estándares de acreditación dictada por el Ministerio de Educación de la Nación Argentina reelabora en el año 2010 un nuevo Diseño Curricular para la carrera Ingeniería Informática, el cual fue aprobado mediante Ordenanza 002/2010. El perfil definido en el diseño mencionado es formar un Ingeniero en Informática comprometido a servir a la comunidad mediante los conocimientos especializados en Informática. En otras palabras, un profesional capaz de llevar a cabo proyectos de implantación tecnológica informática con idoneidad y ética profesional en el ámbito empresarial, organizaciones gubernamentales o no gubernamentales y grupos interdisciplinarios, así como generar empresas de servicios.

El plan de estudios del año 2010 se ajusta a la Resolución del Ministerio de Educación 786/2009 sobre los estándares de acreditación que incluye a la Carrera Ingeniería en Informática. Se organiza en cuatro áreas temáticas: Ciencias Básicas, Tecnologías Básicas, Tecnologías Aplicadas y Ciencias y Tecnologías Complementarias.

La carrera Ingeniería en Informática ha pasado por dos procesos de acreditación, en el año 2011 fue acreditada por 6 años según Res. Nº: 671/11 de la Comisión Nacional de Evaluación y Acreditación Universitaria (CONEAU)-Argentina, y en el año 2019 fue acreditada por 6 años según Res. Nº: 173/19 de la CONEAU.

Las asignaturas que corresponden a la IS se encuentran en el área de Tecnologías Aplicadas, cuyo objetivo es formar en el dominio de metodologías, permitiendo integrar los conocimientos de otras áreas tendientes a desarrollar las competencias del futuro Ingeniero en Informática. En el plan de estudios la IS se divide en las siguientes asignaturas Ingeniería de Software I, Ingeniería de Software II e Ingeniería de Software III.

La configuración didáctica de las asignaturas mencionadas es que son abiertas, flexibles y contextualizadas. Abiertas y flexibles porque se adaptan a las diversas circunstancias, cambiando o ajustando los elementos planificados, y porque toman y/o aplican conocimientos de otras asignaturas. Contextualizada porque considera los nuevos estándares y competencias del Ingeniero según el CONFEDI.

La enseñanza tradicional de cada asignatura se organiza en clases teóricas y clases prácticas. En las clases teóricas la estrategia didáctica utilizada son clases magistrales con ejemplificación de los conceptos enseñados y en las clases prácticas, las estrategias didácticas son: la enseñanza basada en casos, el aprendizaje basado en problemas y proyectos según la perspectiva con la que se resuelven los problemas de ingeniería que deben resolver los alumnos.

La enseñanza basada en casos tiene su origen en la Universidad de Harvard aproximadamente en 1914, con el fin de que los estudiantes de Derecho, en el aprendizaje de las leyes, se enfrentaran a situaciones reales y tuvieran que tomar decisiones, valorar actuaciones, emitir juicios fundamentados, etc. Con el paso de los años fue extendiéndose a otros ámbitos educativos y se convirtió en una estrategia muy eficaz que no proporciona soluciones, sino datos concretos para reflexionar, analizar y discutir en grupo las posibles soluciones al problema que se presenta de manera que los estudiantes desarrollan habilidades de trabajo en equipo, autonomía en el aprendizaje, análisis, síntesis, evaluación, pensamiento crítico y toma de decisiones (Dirección de Investigación e Innovación Educativa , 2011).

El aprendizaje basado en problemas (APB) se fundamenta en el paradigma constructivista, donde conocer y aprender implica ante todo una experiencia de construcción interior, opuesta a una actividad intelectual receptiva y pasiva. Se parte de un problema diseñado por el profesor y el cual el estudiante ha de resolver, la intención es lograr que el estudiante desarrolle determinadas competencias de egreso genéricas, tanto tecnológicas como sociales, políticas y actitudinales. El aprendizaje se inicia con un problema que se toma de situaciones complejas del mundo real, donde el estudiante debe desarrollar competencias profesionales propias de la disciplina para solucionar el problema planteado (Garcés, 2019).

El aprendizaje basado en proyectos es una herramienta eficaz para la adquisición de los conocimientos y competencias que la sociedad está demandando a los estudiantes. Se trata de un tipo de instrucción que permite a los estudiantes llevar a cabo las investigaciones, integrar la teoría y la práctica, y aplicar los conocimientos y habilidades para desarrollar una solución viable a un problema definido (Toledo Morale, 2018). Los objetivos pedagógicos que se persiguen son integrar conocimientos de otras asignaturas, desarrollar la capacidad de autoaprendizaje, desarrollar la capacidad autocrítica, aprender a trabajar colaborativamente (Estruch & Silva, 2006).

Para la enseñanza específica de la IS las asignaturas siguen la visión de Anaya (2006) que propone la integración de factores técnicos, gerenciales y organizacionales para mejorar la práctica del desarrollo de software en las organizaciones. Desde dos aspectos básicos: los profesores deben tener una vista unificada del cuerpo de conocimiento de la IS y la universidad debe tener una percepción de la realidad en las organizaciones que se insertarán a

trabajar los futuros ingenieros.

2.3 Estrategias didácticas utilizadas en la enseñanza de la Ingeniería de Software

Por otra parte, tomando como referencia la propuesta pedagógica de Anaya (2006), que formula diferentes estrategias de enseñanza de la IS se consideraron algunas de éstas en las asignaturas Ingeniería de Software I, Ingeniería de Software II e Ingeniería de Software III:

Estrategia 1. Enfocar el proceso de formación alrededor de los elementos básicos de la ingeniería de software: el proceso, el producto, los métodos y técnicas, la tecnología y el proyecto.

Estrategia 2. El estudiante debe adquirir la habilidad de analizar con sentido crítico la manera de cómo deben ser aplicados el proceso, los métodos y las herramientas en el desarrollo de software.

Estrategia 3. Formación de hábitos sobre la calidad, vista como apropiación de buenas prácticas de ingeniería de software, alrededor tanto del producto que se construye como del proceso que se sigue.

Estrategia 4. Favorecer en los trabajos prácticos el uso de herramientas de apoyo a todo el proceso de desarrollo de software (modelado, gestión, calidad). Estrategia 5. Propiciar un adecuado equilibrio entre actividades que enfaticen el trabajo individual y el trabajo en equipo. El objetivo del trabajo individual es que el estudiante emplee su conocimiento, su autoeficacia para desempeñar y una tarea individual. El objetivo del trabajo grupal es asumir responsabilidades con diferentes roles dentro del equipo, manejo adecuado de interacciones tanto de presión como de colaboración.

Estrategia	Competencia de egreso relacionada
1	Competencia Tecnológica: Identificar, formular y resolver problemas de ingeniería.
2	Competencia Tecnológica: Concebir, diseñar y desarrollar proyectos de ingeniería.
3	Competencia Tecnológica: Competencia Tecnológica: Gestionar, planificar, ejecutar y controlar proyectos de ingeniería. Competencias sociales, políticas y actitudinales: Comunicarse con efectividad
4	Competencia Tecnológica: Utilizar de manera efectiva las técnicas y herramientas de aplicación en la ingeniería.
5	Competencias sociales, políticas y actitudinales: - Desempeñarse de manera efectiva en equipos de trabajo. - Aprender en forma continua y autónoma. - Comunicarse con efectividad.

Tabla 1. Relación Estrategias con Competencias.

En la Tabla 1 se muestra la relación con las estrategias planteadas para la enseñanza de la IS con las competencias de egreso genéricas a las cuales se aportan desde las asignaturas IS.

Considerando que es importante en la enseñanza de la IS contemplar la mirada de la gestión estratégica en un desarrollo de software, para que los estudiantes puedan anticipar y gerenciar los cambios y propiciar software que brinde ventajas competitivas. Se presenta una revisión literaria sobre gestión estratégica y luego la estrategia didáctica que se incorpora en la enseñanza de la IS.

3 GESTIÓN ESTRATÉGICA

La construcción de la revisión literaria, en torno a los temas sobre gestión estratégica que pueden ser incluidos en la enseñanza de la IS, contiene la conceptualización de gestión estratégica y la descripción de los temas principales que se pueden enseñar en IS: activos del proceso y de conocimiento y estrategias didácticas para incluir la gestión estratégica en la enseñanza de la IS.

3.1 Definición de Gestión Estratégica

Ruiz Robles (2016) define la gestión estratégica como el conjunto de análisis, decisiones y acciones que una organización lleva a cabo con el objetivo de crear y mantener una ventaja competitiva. Los procesos que conforman la gestión estratégica son:

- Análisis de la estrategia: se deben definir los objetivos de negocio y los objetivos internos de las áreas, de forma que los esfuerzos de toda la organización estén dirigidos hacia un fin común.
- Formulación de la estrategia: con el fin de identificar fortalezas y debilidades que puedan determinar en qué medida la organización puede ser exitosa. Además, se debe analizar también el capital intelectual de la organización por resultar ser un elemento clave en la generación de ventajas competitivas en la economía actual.
- Implementación de la estrategia: desplegar mecanismos de control que permitan determinar si la estrategia se está llevando a cabo de la forma esperada y si los objetivos del negocio se están cumpliendo.

Desde la perspectiva de la gestión estratégica se consideran los activos de proceso de software y los activos de conocimiento que son descriptos brevemente a continuación.

3.2 Activos de proceso de software

Para Barón Salazar (2012) los activos de proceso de software incluyen los procesos del ciclo de vida. Se trabaja a partir de la colaboración y el trabajo en equipo al hacer que las actividades, funciones, responsabilidades y dependencias sean visibles a todo el personal. Se refieren al conocimiento técnico relacionado con las habilidades para realizar algunas actividades o tareas durante el proceso de software, considerando los métodos y las tecnologías apropiadas para la organización en general y para el proyecto en particular. Este conocimiento es dinámico y cambia con frecuencia, pero puede ser descrito explícitamente con estándares y patrones.

3.3 Activos de conocimiento

Para Carrasco (2010) los activos de conocimiento tienen por objetivo maximizar la utilización del conocimiento en conjunto con las herramientas de Tecnología de la Información y las Comunicaciones (TIC), lo que le proporcionará una ventaja estratégica.

Barón Salazar (2012) los clasifica de acuerdo a diferentes criterios:

- Capital intelectual: es el conocimiento sobre las capacidades de las personas para trabajar en la organización, sus conocimientos, habilidades y experiencia. Es el recurso vital más importante que poseen las organizaciones orientadas al desarrollo de software en la economía actual. Este capital se incrementa por la socialización e interiorización.
- Capital relacional: representa la organización del conocimiento relacionado con las relaciones externas de mercado, los clientes de la organización, socios comerciales y competidores. Este capital se incrementa por la socialización.
- Capital estructural: representa las capacidades organizacionales necesarias para alcanzar los requerimientos funcionales.

De acuerdo con Barón Salazar (2012) en el marco de la Ingeniería de Software los activos de conocimiento pueden ser vistos en diferentes niveles:

- Primer Nivel: se encuentran los datos del proyecto y métricas recolectadas de proyectos anteriores.
- Segundo Nivel: se pueden construir modelos, utilizar métodos, técnicas, lenguajes, patrones, etc. de desarrollo de software.
- Tercer Nivel: representado como “mejores prácticas” y estándares.

Con el objetivo de gestionar los activos mencionados, las organizaciones deben plantear una gestión estratégica que le permita terminar con éxito los proyectos de desarrollo de software.

Por lo tanto, es importante que un futuro profesional en Ingeniería en Informática aprenda a gestionar estratégicamente un proyecto de desarrollo de software. Por ello, desde la enseñanza de la IS, se pueden incorporar temáticas referidas la gestión estratégica desde lo teórico y lo práctico para formar un profesional competente con la realidad en la que se va insertar.

4 Estrategias didácticas para incorporar la gestión estratégica en la enseñanza de la Ingeniería de Software

Para el desarrollo de la parte práctica, se emplea la resolución de problemas de ingeniería utilizando la enseñanza basada en casos, el aprendizaje basado en problemas y aprendizaje basado en proyectos, donde se define un problema-guía, el cual presenta un sistema de información real que está inmerso en un contexto (organización o empresa). Esta práctica es articulada con las asignaturas Ingeniería de Software I, Ingeniería de Software II, Ingeniería de Software III, Base de Datos y Programación III. A continuación se plantea las actividades de las asignaturas de IS en relación a la gestión estratégica.

4.1.1 Gestión Estratégica – Activos de Proceso

En Ingeniería de Software I se realiza el análisis del sistema de información y se generan los artefactos necesarios correspondientes a esta fase del desarrollo de software.

Luego, con esa base, en Ingeniería de Software II se realiza el diseño del sistema de información, con sus respectivos artefactos.

En las asignaturas Programación III y Base de Datos se realiza el proceso de desarrollo e implementación. Con estas asignaturas se abordan las actividades del proceso básico del desarrollo de software, lo cual se realiza mediante una articulación curricular vertical y horizontal.

La estrategia didáctica usada por las asignaturas mencionadas es resolver un problema-guía con la enseñanza basada en casos y el aprendizaje basado en problemas, en la que los alumnos trabajan en equipo de manera colaborativa propiciandose el desarrollo de competencias profesionales.

4.1.2 Gestión Estratégica –Activos de Conocimiento

En Ingeniería de Software III, se consideran los niveles planteados por Barón Salazar (2012) y se continua trabajando con el problema-guía. La

estrategia didáctica es mantener los equipos de trabajo que vienen de Ingeniería de Software I y II y se aplica el aprendizaje basado en proyectos, combinada con la técnica de Role Playing, expresión inglesa para definir al "juego de roles" (del Río, Pumares, & Albizu, 2009).

- Primer Nivel: se lleva a cabo la Gestión, Planificación y Control del Proyecto del Sistema de Información con la técnica de Role Playing. Los alumnos asumen los distintos roles a cumplir dentro de un proyecto de desarrollo de software. Los roles que pueden asumir los alumnos son: Jefe de proyecto, analista/diseñador, programador, verificador y documentador. El equipo docente asume por un lado, el rol de cliente del sistema solicitado, y por otro, el rol de director de juego ya que realizan las guías de actividades y la exposición teórica.
- Segundo Nivel: los equipos de trabajo deben exponer las decisiones tomadas para completar la gestión del proyecto de software con su desarrollo en su versión definitiva o un prototipo del mismo.
- Tercer Nivel: los equipos de trabajo deben exponer sobre las normas y estándares que consideraron en la gestión del proyecto.

En cada una de las asignaturas mencionadas se establece el andamiaje teórico de los contenidos necesarios para que puedan resolver el problema-guía aplicando la gestión estratégica explicada anteriormente.

Con respecto al desarrollo de la parte práctica, los alumnos realizan las diversas tareas de gestión estratégica en las horas de clases y otras son completadas fuera del horario utilizando herramientas TIC elegidas por los propios alumnos. Semanalmente, los alumnos llevan a cabo una breve exposición de los progresos y dificultades; esto permite un seguimiento del trabajo individual y grupal.

Para la acreditación de saberes se consideran dos momentos:

1. Los alumnos deben presentar la documentación generada y exponer las decisiones tomadas como equipo de trabajo. Por situaciones excepcionales debidamente justificadas o por decisión del equipo de cátedra pueden no presentar el ejecutable del software.
2. Se utilizan rúbricas para que los alumnos realicen una coevaluación, en el que reconozcan el trabajo de sus compañeros de acuerdo a los criterios definidos por el equipo de cátedra, una autoevaluación relacionada con procesos de cambio y aprendizaje individual de cada alumno y heteroevaluación para los informes de Trabajos Prácticos.

4.2 Estrategias didácticas en la situación de Pandemia

La llegada del Covid-19, en el 2020, generó una crisis sanitaria mundial, que paralizó todas las actividades, incluido el sistema educativo. Esta situación llevó a repensar, redefinir, y adaptar las la enseñanza universitaria, tradicionalmente construidas en la presencialidad y que debieron trasladarse de forma compulsiva y urgente a los entornos virtuales. De acuerdo con Maggio (2021) la virtualidad impuesta significó para muchos docentes un salto tecnológico obligado y el surgimiento de la colaboración remota, en donde una solución tecnológica es compartida al instante por los colegas. Pero existe una brecha en la que se debe seguir trabajando y es garantizar que cada docente y estudiante tenga dispositivos y conectividad de calidad.

Los docentes de las carreras de la FTyCA-UNCA en algunos casos han realizado un esfuerzo de autoaprendizajes, en otros se han acogido a programas de capacitación institucional, para realizar propuestas de virtualización de sus asignaturas en la plataforma educativa Moodle de la Facultad y programas de videoconferencias como Meet o Zoom, donde el estudiante pueda interactuar de manera sincrónica o asincrónica.

En las asignaturas mencionadas para el desarrollo de la parte teórica de los contenidos necesarios para resolver el problema-guía se utiliza el espacio virtual para cada asignatura en la Plataforma Moodle en la que los alumnos encuentran el material multimedia o textos. Además, se pautan clases de manera sincrónica utilizando la aplicación Meet. Se crean grupos de Whatsapp entre docentes y alumnos como medio de comunicación y motivar la participación de los alumnos, tanto en el aula virtual como las sesiones de videoconferencia.

Para realizar la gestión del proyecto, los equipos de trabajos conformados por los alumnos elijen una herramienta que les permita trabajar de manera colaborativa.

Para la acreditación de saberes, los equipos de trabajo suben la documentación generada en el aula virtual y para la exposición se define un encuentro por Meet.

Este año se prevé que las rúbricas de coevaluación, heteroevalución y autoevaluación se encuentren disponibles en el Aula Virtual para las asignaturas que las utilizan.

5 CONCLUSIONES

Con la incorporación de la gestión estratégica en la enseñanza de la Ingeniería de Software en la carrera de Ingeniería en Informática de la FTyCA-

UNCA se genera un intenso ambiente de trabajo en equipo, en el cual los docentes son un promotor de la participación, y motivan a los alumnos para que sean activos, propositivos y analíticos.
Además, esta incorporación de gestión estratégica, les permite a los alumnos asimilar mejor los conocimientos y desarrollar un conjunto de competencias profesionales establecidas por el CONFEDI para los ingenieros, referidas a desarrollar la capacidad analítica, argumentativa y reflexiva, la competencia de comunicación oral, la habilidad de solucionar conflictos de comunicación, de resolver problemas de ingeniería y de comprender ideas distintas a las propias.

6 Referencias

Anaya, R. Una visión de la enseñanza de la ingeniería de software como apoyo al mejoramiento de las empresas de software. *Revista Universidad Eafit,* 42, 60-76, 2006.

Barón Salazar, A. *Pegaso: una propuesta para la gestión activos de software*. Universidad EAFIT - Maestría en Ingeniería. Medellín, Colombia. 2012.

Carrasco, C. Gestión estratégica del conocimiento para las empresas peruanas. *Quipukamayoc*, 17, 199-208, 2010.

CONFEDI. *Marco conceptual y definición de estándares de acreditación de las carreras de ingeniería. Libro Oro Verde.* Consejo Federal de Decanos de Ingeniería, 2017.

Del Río, A., Pumares, M., Albizu, M. Un juego de rol para la enseñanza de la profesión informática. *Novática: Revista de la Asociación de Técnicos de Informática*, 47-50. 2009.

Dirección de Investigación e Innovación Educativa. Método de Casos. Técnicas Didácticas. *Tecnológico de Monterrey*. México. 2011.

Estruch, V., Silva, J. Aprendizaje basado en proyectos en la carrera de Ingeniería Informática. *Métodos pedagógicos innovadores*, 339-346. 2006.

Garcés, S. *Metodología de aprendizaje basado en problemas*. Grupo Educar: https://www.grupoeducar.cl/material_de_apoyo/metodologia-del-aprendizaje-basado-problemas-abp/. 30-07-2021.

ISO/IEC/IEEE. *ISO/IEC/IEEE 24765:2017 Systems and software engineering — Vocabulary.* : https://www.iso.org/obp/ui/es/#iso:std:iso-iec-ieee:24765:ed-2:v1:en. 29-07-2021

Maggio, M. Docentes y tecnologías: aprender para enseñar en tiempos de pandemia. *Telam - Agencia Nacional de Noticias*,. https://www.telam.com.ar/notas/202102/544531-docentes-tecnologia-pandemia-especial-educacion-clases-opinion.html. 13-02-2021.

Nauer, P., & Randell, B. Report on a conference sponsored by the NATO SCIENCE COMMITTEE. Garmisch, Alemania: https://www.scrummanager.net/files/nato1968e.pdf. 19-05-2021.

Pressman, R. *Ingeniería del Software. Un enfoque práctico. 7ma edición*. Mc Graw Hill, México, 2010.

Ruiz Robles, R. Valoración y gestión estratégica de activos de proceso intangibles en ingeniería del software. Tesis doctoral. *Universidad Carlos III - Doctorado en Ciencia y Tecnología Informática*. Madrid, España: https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/25144. 2016. 28-05-2021.

Toledo Morales, P. y Sánchez García, J. M.. Aprendizaje basado en proyectos: una experiencia universitaria. *Profesorado Revista de currículum y formación del profesorado*. 22, 471-491, 2018.

Impacto del sistema de Ingreso en las carreras de Ingeniería de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la UNT

Mazzucco, Andrea C.[1]; Sfer, Ana M.[1]

(1) *Departamento de Matemática de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología. Universidad Nacional de Tucumán.*
andreamazzucco2@gmail.com; asfer@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN

El Sistema de Ingreso a la Universidad ha sido y es, siempre un tema controvertido, donde se conjugan opiniones a favor y en contra. En este trabajo, se realiza el seguimiento de la cohorte de ingresantes 2009 a la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, de la Universidad Nacional de Tucumán, a lo largo de 10 años y se analizan variables de rendimiento académico y factores: tipo de ingreso y nota, establecimiento de nivel medio, lugar de residencia, entre otros. El estudio muestra que la carrera más requerida es Ingeniería Industrial con un 23% de alumnos que completan su inscripción, el 57% proviene de San Miguel de Tucumán, y el 56% egresó de establecimientos de nivel medio privado. Los mejores indicadores los tienen los alumnos que viven en San Miguel de Tucumán, que vienen de establecimientos privados y que ingresan a la facultad a través de una prueba de suficiencia.

ABSTRACT

The University Admission System has been and is always a controversial issue, where opinions for and against are combined. In this work, the cohort of 2009 entrants to the Faculty of Exact Sciences and Technology of the National University of Tucumán has been monitored over 10 years and variables of academic performance and factors are analyzed: type of income, establishment of medium level, place of residence, among others. The study shows that the most required career is Industrial Engineering with 23% of students who complete their registration, 57% come from San Miguel de Tucumán, and 56% graduated from private medium level establishments. The best indicators are the students who live in San Miguel de Tucumán, who come from private establishments and who enter through a sufficiency test.

Palabras Clave: Tipo de ingreso - Avance anual - Nota de matemática

1. Keywords: Type of income - Annual advance - Math grade

2. INTRODUCCIÓN

El Sistema de ingreso es un tema controvertido en todas las unidades académicas de estudios de nivel superior, en particular, en nuestra Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología (FACET) de la Universidad Nacional de Tucumán (UNT). Al respecto se vierten muchas opiniones de docentes del primer año de las carreras, de autoridades y de los docentes a cargo del Sistema de ingreso. Se propone con este trabajo hacer una recolección y posterior análisis de datos para que, a partir de indicadores estadísticos, se pueda fundamentar la necesidad o no de la existencia de un Sistema de ingreso y sus características. Se observa que, de acuerdo a la Ley Superior, todas las Universidades Nacionales deben ser irrestrictas y gratuitas.

En este trabajo, se presenta la cohorte del año 2009, que se sigue hasta el año 2018, es decir, 10 años y se observa el comportamiento académico de la misma según su forma de ingreso. Se registran variables de rendimiento académico como promedio, porcentaje de avance anual, porcentaje de avance acumulado, entre otras y los factores: tipo de ingreso realizado; nota obtenida en matemática en el curso de ingreso; tipo de establecimiento de nivel medio; si el lugar de residencia es San Miguel de Tucumán, carrera en que se inscribe y permanece a lo largo del estudio.

Se logró el armado de una única base aunando variables de dos bases diferentes: la del Sistema Ingreso y la de Sección alumnos. Se concluye y aconseja armar una única base desde el primer momento, cuando el aspirante realiza su primera actuación académica en la Facultad.

Se realiza un análisis descriptivo de los datos registrados; se elige, entre las variables recabadas, el porcentaje de avance anual de cada alumno en su respectiva carrera como respuesta y se trata de explicar a partir de los factores: Tipo de ingreso, Nota obtenida en matemática en el curso de ingreso, Tipo de establecimiento de nivel medio y si es o no de San Miguel de Tucumán.

También se introduce un análisis sobre el porcentaje de egresados, a partir de la variable porcentaje de avance acumulado.

Finalmente, se calcula MANOVA (Análsis de la Varianza Multivariado) para medidas repetidas, considerando como respuesta, el porcentaje de avance anual y como factores el tiempo y el tipo de ingreso realizado.

3. MATERIALES Y MÉTODO

Para realizar nuestro estudio de caso, se consideraron todos los alumnos ingresantes a las carreras de Ingeniería de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán correspondientes a la cohorte 2009.

Para ello, se solicitó al encargado de sistema de Sección alumnos de la FACET el registro de todos los ingresantes genuinos del año 2009. Por otro lado, al área ingreso se solicitó los datos correspondientes a dicho año. Entiéndase como ingresante genuino a aquel alumno que entra por primera vez a la FACET y no a aquellos que ingresan desde otra carrera de la FACET.

El armado de la base fue una tarea compleja, ya que compatibilizar la base del Sistema de ingreso y la de Sección alumnos requirió unificar variables y nombres de variables. Se contaba con una base de alumnos de 688 registros y una base de ingreso de 599 registros. Se utilizó como identificador de registro el DNI (Documento Nacional de Identidad) de cada alumno y la carrera. Luego, se consideraron sólo aquellos alumnos que en los 10 años no cambiaron de carrera. Si están contemplados en la base, los alumnos cuyos planes se actualizaron, quedando así con una base de aproximadamente 400 alumnos (se unificaron las actuaciones individualmente por alumno y el Código de la carrera). También se crearon variables que no estaban en ninguna de las bases originales como: Tipo de establecimiento de nivel medio (público o privado), Porcentaje de avance anual, Porcentaje de avance acumulado, Lugar de residencia (San Miguel de Tucumán o no), Nota de matemática del ingreso.

Para calcular el avance de cada alumno en cada ciclo lectivo se solicitó a Sección alumnos los planes de estudio de cada carrera para obtener el total de materias. Luego, se agregó la variable Avance por año que considera el total de materias aprobadas en un año por el alumno sobre el total de materias que tiene la carrera según su plan de estudio. Se consideró dentro del total de materias de cada carrera las Prácticas Profesionales Supervisadas (PPS), Proyecto final, Requisito de inglés y Talleres.

Además, se debió diferenciar en la base las siguientes condiciones de ingreso: los estudiantes que ingresan como alumnos a pesar de no haber realizado ninguna instancia de ingreso, los alumnos que realizaron un curso de ingreso en el período Agosto-Diciembre 2008, los alumnos que realizaron un curso de ingreso en el período Febrero 2009 y los alumnos que rindieron prueba de suficiencia sin cursar el ingreso.

La prueba de suficiencia consiste en un examen donde el alumno demuestra su nivel en Matemática y, al aprobarla, se considera que no requiere realizar el curso de ingreso. Todas estas instancias son de nivelación y desaprobarlas no inhabilita el ingreso del estudiante a la Facultad. Esta clasificación dió lugar a la variable Tipo de Ingreso.

Así logró conformarse una base de 360 alumnos. Se observa que en la Facultad se dictan 15 carreras de grado y 4 Tecnicaturas, además de las carreras de postgrado. Las carreras de ingenierías son 10 más la carrera de Agrimensura que se considera dentro del mismo grupo. Este trabajo se refiere a las siguientes carreras: Ing. Biomédica, Ing Civil, Ing. en Computación, Ing. Eléctrica, Ing. Electrónica, Ing. Mecánica, Ing. Industrial, Ing. Química, Geodesia y Agrimensura. La carrera de Ing. Azucarera no se considera, ya que, en el año de ingreso bajo estudio, no registran ingresantes.

Las variables consideradas son:

- Número de legajo del alumno
- Tipo de establecimiento de nivel medio: público o privado
- Lugar de residencia original del alumno: San Miguel de Tucumán o no
- Tipo de ingreso
- Nota de Matemática del ingreso
- Carrera
- Promedio anual
- Porcentaje de avance anual
- Porcentaje de avance acumulado anual
- Egresado

La variable Promedio anual corresponde la media de las notas obtenidas por el alumno en todas sus actuaciones del año.

La variable Egresado corresponde a los alumnos con Porcentaje de avance acumulado igual al 100%.

Con la Base Inicial de 360 alumnos se realiza el Análisis Descriptivo de los datos. Luego, para el Análisis de la Varianza para medidas repetidas se procede a eliminar los alumnos que no tienen datos referidos al ingreso (31 alumnos) y aquellos que no avanzaron nada en la carrera durante los 10 años de estudio (24 alumnos). De esta manera, queda finalmente una base de datos de 305 individuos.

4. RESULTADOS

3.1 *Análisis descriptivo*

La cantidad de alumnos ingresantes en el año 2009, por carrera, se presentan en la Tabla 1. La carrera con mayor frecuencia es Ingeniería Industrial que representa el 23%, seguida por Ingeniería Civil con un 17%.

Tabla 1. Cantidad de alumnos ingresantes año 2009 por carrera.

Carrera	Frec.	Porcentaje	Acumulado
Ing. Industrial	84	23	23
Ing. Civil	61	17	40
Ing. Mecánica	58	16	56
Ing. Química	48	13	70
Ing. Comp.	42	12	81
Ing. Biomédica	32	9	90
Ing. Electrónica	24	7	97
Ing. Eléctrica	8	2	99
Agrimensura	2	0,56	99,2
Geodesia	1	0,3	99,7
Total	360	100	100

El mayor porcentaje de ingresantes (57%) tiene como lugar de residencia, durante su escuela media, a San Miguel de Tucumán y proviene de un establecimiento de nivel medio de tipo privado (56%), (Tablas 2 y 3).

Tabla 2. Cantidad de alumnos ingresantes año 2009 por lugar de residencia.

S.M. De Tucumán	Frecuencia	Porcentaje
No	156	43
Sí	204	57
Total	360	100

Tabla 3. Cantidad de alumnos ingresantes año 2009 por tipo de establecimiento secundario.

Tipo de Establecimiento	Frecuencia	Porcentaje
Privado	200	56
Público	160	44
Total	360	100

Con respecto a su condición de ingreso, el 70% realizó y aprobó un curso de ingreso, ya sea en Agosto-Diciembre o en Febrero, un 11% aprobó una Prueba de suficiencia y un 10% ingresó sin haber aprobado ninguna instancia de ingreso ofrecida por la FACET. Se observa alumnos que, habiendo aprobado una prueba de ingreso o alguna materia del área matemática en Instituciones universitarias o de Nivel superior, se les permite inscribirse en cualquier carrera de la Facultad. También puede haber alumnos que, no habiendo aprobado ninguna instancia de ingreso, son admitidos en la FACET y pueden cursar algunas materias de 1er año. Dichos alumnos deben aprobar un curso de ingreso en el periodo Abril-Julio.

Tabla 4. Cantidad de alumnos ingresantes año 2009 por tipo de ingreso.

Tipo de Ingreso	Frec.	Porcentaje	Acumulado
Sin Ingreso	38	10	10
Agosto–Dic 2008	113	32	42
Febrero 2009	139	38	80
Suficiencia	39	11	91
Sin datos	31	9	100
Total	360	100	

No se observan diferencias en la nota promedio de matemática por lugar de residencia, (Tabla 5) y es muy poco diferente por tipo de establecimiento de nivel medio del alumno (Tabla 6). Si hay una diferencia un poco mayor por Tipo de Ingreso, (Tabla 7).

Tabla 5. Nota de Matemática del ingreso 2009 por lugar de residencia.

S.M. de Tuc.	Cantidad	Media	Mediana	Desvío Est.
No	125	6,13	6,05	1,30
Sí	166	6,13	6,10	1,28
Total	291	6,13	6,10	1,28

Tabla 6. Nota de Matemática del ingreso 2009 por tipo de establecimiento secundario.

Tipo de Establec.	Cantidad	Media	Mediana	Desvío Est.
Privado	176	6,22	6,30	1,28
Público	115	6	5,90	1,29
Total	291	6,13	6,10	1,27

Tabla 7. Nota de Matemática del ingreso 2009 por tipo de ingreso.

Tipo de Ingreso	Cantidad	Media	Mediana	Desvío Est.
Ago – Dic 2008	113	6,25	6,3	1,28
Febrero 2009	139	6,02	5,9	1,34
Suficiencia	39	6,16	6	1,10
Total	291	6,13	6,1	1,29

En la Figura 1 se observa que la mediana de notas es mayor en los alumnos que realizan el ingreso de Agosto-Diciembre. Las notas con menor dispersión son las que corresponden a alumnos que rinden suficiencia.

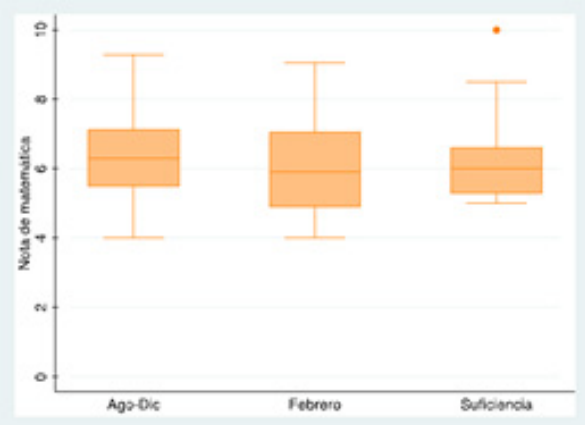


Figura 1. Diagrama de Caja de las Notas de matemática según tipo de ingreso.

Con respecto al porcentaje de avance anual, en la Figuras 2 y 3 se observa que hay un mayor porcentaje de avance anual de los alumnos con lugar de residencia en San Miguel de Tucumán y alumnos con educación media de tipo privada.

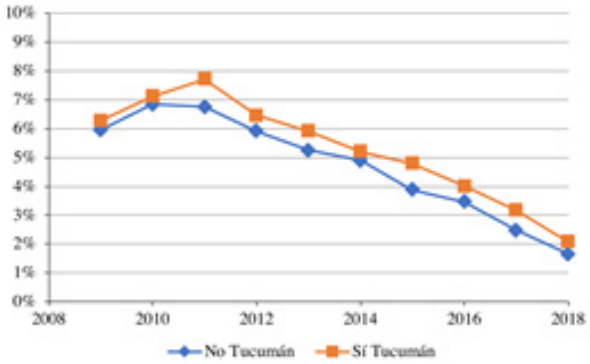


Figura 2. Grado de avance anual en la carrera según lugar de residencia.

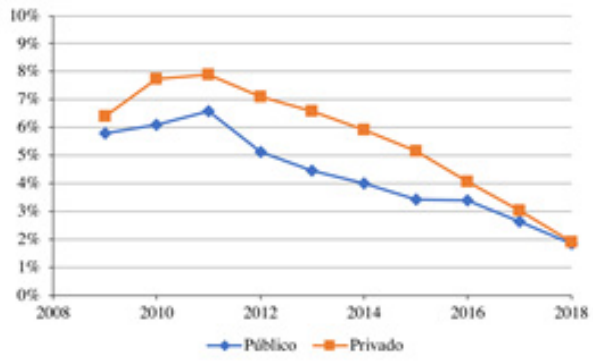


Figura 3. Grado de avance anual en la carrera según tipo de establecimiento secundario.

En la Figura 4, que muestra porcentaje de avance anual según el Tipo de ingreso, se observa que, para los primeros años, es más alto en los alumnos que

rindieron examen de suficiencia, le siguen los que hicieron el curso de ingreso y el porcentaje más bajo corresponde a los alumnos que no aprobaron ninguna instancia de ingreso en la FACET.

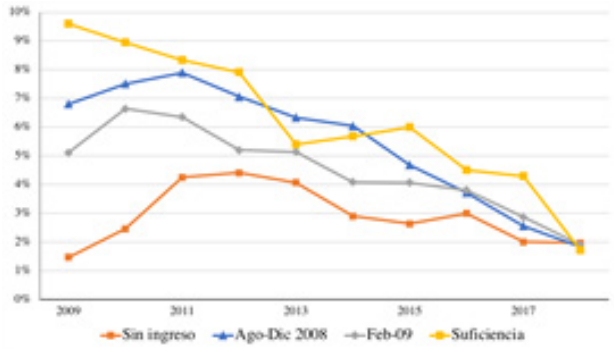


Figura 4. Porcentaje de avance anual en la carrera según tipo de ingreso.

En la Figura 5. se observa el porcentaje de avance anual según la Nota de matemática del ingreso. En los primeros 8 años de carrera los alumnos con notas mayores a 7 tienen mayor porcentaje de avance en la carrera que aquellos alumnos que obtuvieron notas menores o iguales a 7.

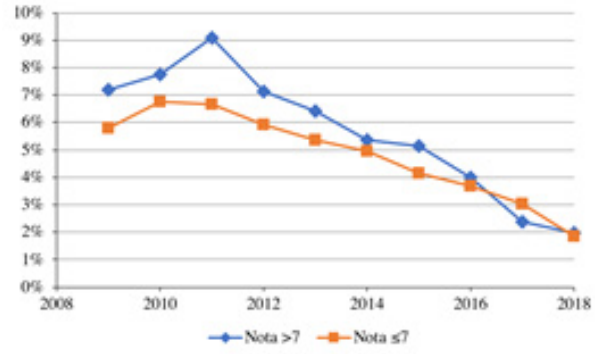


Figura 5. Porcentaje de avance anual en la carrera según nota de matemática.

En la Tabla 8 se muestran los egresados y se observa que el 23% (83 alumnos) del total de ingresantes (360) ha concluido la carrera. Sólo el 2% termina la carrera a los 6 años de haber ingresado.

Tabla 8. Cantidad de alumnos recibidos por año y porcentaje de recibidos.

Año de Recibida	Frecuencia	Porcentaje
2014	7	2
2015	19	5
2016	17	5
2017	25	7
2018	15	4
Total general	83	23

Los egresados según Tipo de ingreso se observan en la Tabla 9. Se destaca que Sin ingreso sólo el 3% (1/38 alumnos) ha finalizado la carrera al cabo de los 10 años. El mayor porcentaje de egresados se observa en el grupo que rindieron suficiencia 36% (14/39).

Tabla 9. Cantidad de alumnos recibidos según tipo de ingreso.

Tipo de ingreso	Frecuencia	Porcentaje
Sin ingreso	1	3
Ingreso Ago – Dic 2008	33	29
Ingreso Febrero 2009	25	18
Suficiencia	14	36
Sin datos	10	32
Total	83	23

Con respecto a la cantidad de egresados se mantiene la tendencia de mayor porcentaje en aquellos alumnos que provienen de S.M. de Tucumán y de un establecimiento de nivel medio privado, (Tablas 10 y 11).

Tabla 10. Cantidad de alumnos egresados según lugar de residencia.

S.M. De Tucumán	Cantidad	Porcentaje
No	11	7
Sí	72	35
Total	83	23

Tabla 11. Cantidad de alumnos egresados según tipo de establecimiento.

Tipo de Establecimiento	Cantidad	Porcentaje
Privado	60	30
Público	23	14
Total	83	23

3.2 *Análisis inferencial*

Resulta importante estudiar los datos en su mayor potencialidad, considerando toda la base de datos simultáneamente. Se trata, entonces, de medidas repetidas ya que cada alumno es observado a lo largo de 10 períodos lectivos. Se toma como variable respuesta el Avance anual de cada alumno y se busca analizar si el avance de cada alumno en su carrera cambia con el tiempo. Se utiliza el software SPSS

para realizar un Análisis Multivariado de la Varianza (MANOVA) para medidas repetidas.

Pruebas multivariante[a]

Efecto		Valor	F	gl de hipótesis	gl de error	Sig.	Eta parcial al cuadrado
Tiempo	Traza de Pillai	,430	24,81[b]	9,000	296,00	,000	,430
	Lambda de Wilks	,570	24,81[b]	9,000	296,00	,000	,430
	Traza de Hotelling	,754	24,81[b]	9,000	296,00	,000	,430
	Raíz mayor de Roy	,754	24,81[b]	9,000	296,00	,000	,430

a. Diseño : Intersección
Diseño intra-sujetos: tiempo
b. Estadístico exacto

Figura 6. Salida MANOVA para medidas repetidas.

En la Figura 6 se observa la primera parte de la salida del software (pruebas multivariadas) que ofrece varios estadísticos para poner a prueba la hipótesis nula referida al efecto del factor tiempo. La tabla contiene cuatro estadísticos multivariados: la traza de Pillai, la lambda de Wilks, la traza de Hotelling y la raíz mayor de Roy. En las cuatro pruebas, dado que el valor $p < 0{,}001$, se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias y podemos concluir que el avance promedio en la carrera no es el mismo en los 10 momentos temporales definidos por el factor tiempo, es decir, hay un cambio significativo del avance en el tiempo.

Además de esta prueba multivariada, la salida nos ofrece otras de carácter univariado, más limitadas y que exigen el supuesto de esfericidad.

Los resultados del MANOVA para mediciones repetidas solo se pueden interpretar correctamente si se realiza una representación gráfica del cambio a lo largo del tiempo. La Figura 7 muestra una representación gráfica de este tipo.

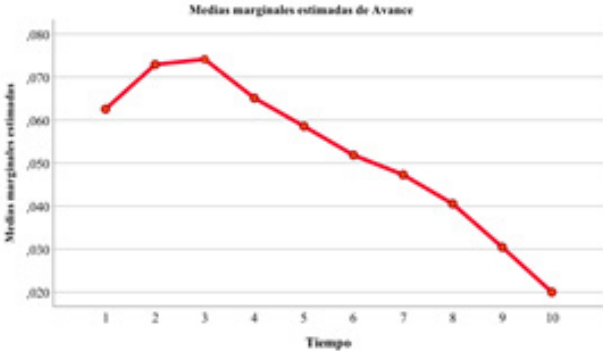


Figura 7. Representación gráfica del avance en el tiempo.

La figura muestra que el desarrollo significativo a lo largo del tiempo, que se encontró con MANOVA para medidas repetidas, se caracteriza los tres primeros años por un aumento del avance en el tiempo seguido por una disminución en los últimos siete períodos.

Ahora nos interesa analizar si existe una diferencia a lo largo del tiempo en la variable respuesta Avance entre los distintos grupos de Ingreso. En el conjunto de datos de aplicación, Tipo de Ingreso es una variable categórica independiente del tiempo, por lo que esta variable se utilizará como un factor entre sujetos. Recordemos las cuatro condiciones de ingreso: los alumnos que aprobaron ingreso en el período Agosto-Diciembre 2008 (grupo 1), los alumnos que aprobaron ingreso en el período Febrero 2009 (grupo 2), los alumnos que rindieron prueba de suficiencia sin cursar el ingreso (grupo 3) y los estudiantes que la FACET los recibió como alumnos a pesar de no haber aprobado la instancia de ingreso (grupo 4). En nuestro caso, el tiempo es el factor intra-sujetos y la variable tipo de Ingreso es el factor inter-sujetos.

Pruebas multivariante[a]

Efecto		Valor	F	gl de hipótesis	gl de error	Sig.	Eta parcial al cuadrado
Tiempo	Traza de Pillai	,334	16,4[b]	9,000	293,000	,000	,334
	Lambda de Wilks	,666	16,4[b]	9,000	293,000	,000	,334
	Traza de Hotelling	,502	16,4[b]	9,000	293,000	,000	,334
	Raíz mayor de Roy	,502	16,4[b]	9,000	293,000	,000	,334
Tiempo * ingreso	Traza de Pillai	,205	2,41	27,000	885,000	,000	,068
	Lambda de Wilks	,805	2,44	27,000	856,353	,000	,070
	Traza de Hotelling	,228	2,47	27,000	875,000	,000	,071
	Raíz mayor de Roy	,152	4,97[c]	9,000	295,000	,000	,132

a. Diseño : Intersección + ingreso2
Diseño intra-sujetos: tiempo
b. Estadístico exacto
c. El estadístico es un límite superior en F que genera un límite inferior en el nivel de significación.

Figura 8. Salida MANOVA para medidas repetidas por grupo.

En la Figura 8. se observa la salida para el enfoque multivariado (pruebas multivariadas). En primer lugar, se proporciona el efecto de tiempo total y, en segundo lugar, la interacción tiempo * ingreso.

Podemos concluir que el avance cambia significativamente con el tiempo y con el tipo de ingreso cursado por el alumno.

5. CONCLUSIONES

El análisis y los resultados obtenidos muestran diferencias estadísticamente significativas en los porcentajes de avance con el tiempo y por Tipo de ingreso realizado por el alumno.

Los alumnos tienen un mayor porcentaje de avance anual promedio si toman al menos algunas de las instancias de ingreso que ofrece la FACET (5% vs 3%).

Los alumnos que ingresaron a partir de una prueba de suficiencia están mejor preparados y obtienen un mejor porcentaje de avance promedio que cualquier

otro ingresante a la FACET (6%). Esto estaría indicando, que aquellos alumnos que asumen la responsabilidad de prepararse para una prueba de suficiencia se desempeñan mejor durante la carrera de grado.

Con respecto a la Nota de Matemática del Ingreso los alumnos con nota mayor a 7 tienen también un mayor porcentaje de avance promedio anual (6%) frente al resto (4%).

Con respecto al porcentaje de egresados, se encuentran diferencias más marcadas que las anteriores. El porcentaje de egresados de la cohorte 2009 al cabo de 10 años es bajo ya que alcanza el 23% (total de alumnos=360). Los porcentajes de egresados según tipo de ingreso disminuyen notablemente desde suficiencia (36%), ingreso Agosto-Diciembre (29%), ingreso Febrero (18%) y sin ingreso (3%).

Si bien, las autoras realizamos este trabajo a fines de aplicar nuevas metodologías estadísticas, se espera que estas primeras conclusiones sean útiles para las autoridades y ayuden a la toma de decisiones acerca del Sistema de ingreso de la FACET.

6. AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Ing. Maximiliano Odstrcil y a la Lic. Estela M. López por habernos facilitado las bases originales de alumnos y de ingreso, de la cohorte 2009.

7. REFERENCIAS

Twisk, J. *Applied Longitudinal Data Analysis for Epidemiology. A practical Guide.* Cambridge University Press, 2003.

Sfer, A. M., Ruiz, E. del V., Naidicz, P.L. *Rendimiento Académico de Alumnos de las carreras de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la UNT ante la Segunda Fase de Acreditación*. Actas XX Encuentro Nacional y XII Encuentro Internacional de Educación Matemática en Carreras de Ingeniería, EMCI, Santiago del Estero, ISBN 978-987-720-151-2, 2017.

Sfer, Ana M. y Ruiz, Estela del V. *Rendimiento Académico de Alumnos de las Carreras de Ingeniería de la Fac. de Ciencias Exactas y Tecnología de la UNT a 10 años de la primera acreditación.* Segundo Congreso Argentino de Ingeniería. Tucumán, Argentina. ISBN 978-987-1662-51-7, 2014.

Fernández, A; Sfer, A y Ruiz E. *Análisis del rendimiento académico del ciclo básico de ingeniería de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología. UNT*. VIII Jornadas de Ciencia y Tecnología de las Facultades de Ingeniería del NOA, Tucumán, Argentina, ISSN 1853-7871, 2012.

Ruiz, G., Ruiz, J., Ruiz, E. *Indicador global de rendimiento*. Revista Iberoamericana de Educación (RIE) ISSN: 1681-5653, Número 52/4. http://www.rieoei.org/3258.htm.

Ruiz, G., Ruiz, E., Odstrcil, M., Ruiz, J. *Avance en la carrera y calidad en el desempeño, como factores del rendimiento académico en carreras de ingeniería en la UNT*. Resumen y Trabajo largo en las VIII Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA, Tucumán, 2012.

Odstrcil, M., Ruiz, E., Ruiz, G. *Software para el análisis estadístico de datos académicos de la FACET.* CET (Revista de Ciencias Exactas e Ingeniería, UNT), ISSN: 1668-8910, Vol. 33:17-22, 2012.

Incidencia del recursado en Química General de Ingeniería de la UNSa

Zacur Vercellone, Sofía Susana[1] y Moraga, Norma.[1,2]

(1) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta.
sofiazacur@gmail.com
(2) INIQUI-CONICET, Universidad Nacional de Salta.
nmoraga@ing.unsa.edu.ar

RESUMEN

El desarrollo e implementación de estrategias didácticas para el dictado de una materia puede optimizarse si se conoce la composición del alumnado que la cursa. En este trabajo se presenta el análisis de la composición del alumnado en la materia Química General de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Salta (UNSa) en función de la cantidad de recursantes. Este estudio pudo realizarse a partir de una base de datos generada por la cátedra, con el propósito de promover una mejor organización y optimizar las estrategias de enseñanza. De ella se obtienen los porcentajes de recursantes en la cátedra según la heterogeneidad de las carreras disponibles, porcentajes de la cantidad de veces que recursan (repitencia) y las instancias en las que quedan libres. Este conocimiento propende a la mejora continua de la cátedra, permitirá el desarrollo e implementación de estrategias que disminuyan la cantidad de recursantes y el nivel de deserción, aumentando así la eficiencia de los procesos de enseñanza y aprendizaje de la cátedra.

ABSTRACT

Didactic strategies in teaching can be optimized when the class composition is considered. The analysis of composition of a chemistry course (Faculty of Engineering of the National University of Salta, UNSa) is presented in this work. The study was developed in terms of student repetition. It was carried out from a database generated in order to promote better organization and the optimization of teaching strategies. From this document, the percentages of student´s repetition can be deduced according to the herogeneity of the available careers, the percentages of repeaters according to the number of attemps to promote the course and when they failed. This knowledge tends to the continuous teaching improvement, it will allow the development and implementation of strategies that reduce the repetition and student´s dropout, thus increasing the efficiency of the teaching-learning process.

Palabras claves: estudiantes repitentes – enseñanza en ingeniería – enseñanza en química – estrategias de enseñanza

Keywords: student´s repetition – engineering teaching – chemistry teaching – teaching strategies

1. INTRODUCCIÓN

La población de estudiantes en cualquier asignatura de la universidad pública se caracteriza por ser heterogénea desde múltiples enfoques: posición socio-económica, nivel de conocimientos previos, rango etario (en muchas ocasiones relacionado al año de ingreso a la carrera) género e incluso convergencia de estudiantes de diferentes carreras (diferentes perfiles académicos) en el aula. El conocimiento de la composición del alumnado en una asignatura, aunque sea en alguno de estos aspectos, resulta de vital importancia en la definición y evaluación continua de la metodología de enseñanza tal como lo indica Lattuada (2017).

La repitencia se entiende como la acción de cursar reiteradamente una actividad académica, sea por mal rendimiento del estudiante o por causas ajenas al ámbito académico. Según Tinto (1982), la repitencia y la deserción son fenómenos que en muchos casos están concatenados (ya que la investigación demuestra que la repitencia reiterada conduce generalmente, al abandono de los estudios) y asociados a la eficiencia del sistema. . Este fracaso, según Latiesa (1992) puede ser "académico", atribuible a la institución y que se corresponde con la interpretación más tradicional del rendimiento académico o bien “por ausencia” que supone un escaso compromiso del estudiante con los estudios.

Se estima que solo el 12% de los estudiantes que ingresan a universidades nacionales se gradúa y que el 50% de la deserción ocurre durante los dos primeros años de carrera (Gilberto y col, 2005).

Química General es una asignatura de la Facultad de Ingeniería de la UNSa (Universidad Nacional de Salta), que se dicta en el segundo cuatrimestre de primer año y corresponde al ciclo básico de las carreras de Ingeniería Civil (R-CS-2005-0558), Ingeniería Industrial (R-CS-2014-0447), Ingeniería Química (R-CDI-2017-0205) e Ingeniería Electromecánica (R-CS-2015-0192). En la asignatura se abordan generalidades de la química desde una descripción a nivel microscópico (concepto de átomo y teorías atómicas) hasta una perspectiva macroscópica y fenomenológica de la química (nomenclatura, estequiometría, soluciones, equilibrio, electroquímica, etc.), de acuerdo al programa aprobado para el dictado de la misma (R-693-HCD-04). Esta materia se vuelve a dictarse durante el primer cuatrimestre del año.

El siguiente trabajo se llevó a cabo con el objetivo de evaluar la incidencia en la carrera del recursado y el rendimiento de los estudiantes que recursan. Para esto se generó una base de datos que permitiera analizar la composición del alumnado en la materia en términos del porcentaje de repitentes e ingresantes, según su perfil académico (caracterizado por la carrera en la que se encuentran inscriptos) y comisión de preferencia. Se estudió también rendimiento general del alumnado durante las cursadas. Se espera, en función de los resultados obtenidos, poder llevar acciones de mejora en la enseñanza de la Química General

2. METODOLOGÍA, ANÁLISIS Y RESULTADOS

1.1 *Metodología*

Para llevar a cabo este análisis se desarrolló una base de datos con los alumnos inscriptos durante cuatro cuatrimestres consecutivos en la materia consignando la carrera a la que pertenecen. De este modo, mediante la programación de un sistema informático pudo contabilizarse la cantidad de veces que un alumno recursó la materia en función de la carrera a la que pertenece y comisión. En dicha base de datos se consignó también cuatrimestre a cuatrimestre, la instancia en la que el alumno quedó libre o promocionó. Esta base de datos se realizó con fines estadísticos y organizativos. Los datos generales se procesaron y los resultados de este análisis se muestran a continuación.

1.2 *Cantidad total de recursantes por cuatrimestre*

Se entiende por recursante o repitente a aquel alumno que cursa la materia por segunda vez o más. Debe aclararse que si bien un alumno puede estar cursando la materia en el primer cuatrimestre no significa que necesariamente es un recursante de Química General, sino que puede haberlo sido en la correlativa anterior. En la tabla 1 se detallan la cantidad total de alumnos recursantes e ingresantes de los cuatro últimos cuatrimestres.

Tabla 1. Composición total de alumnos en el periodo 2019 - 2021.

Periodo	Total	Ingresantes	Recursantes
2° C 2019	510	184	326
1° C 2020	480	153	327
2° C 2020	564	193	371
1° C 2021	475	85	390

Debe observarse que la cantidad de alumnos siempre es menor en el redictado (1° cuatrimestre). Comparando el 2° Cuatrimestre de 2019 (presencial) con el 2 °Cuatrimestre de 2020 (virtual) se observa que la proporción de recursantes es similar (64% en 2019 y 65% en 2020). La notoria disminución de alumnos ingresantes el 1° Cuatrimestre 2021, y por

ende el alto porcentaje de recursantes (82%), podría ser una consecuencia la pandemia COVID-19 tras un año de aislamiento.

1.3 *Índice de repitencia*

Un análisis específico y más detallado sobre la población de repitentes del último cuatrimestre (Fig. 1), muestra que el porcentaje de alumnos recursantes disminuye con la cantidad de veces que repite la materia.



Figura 1. Composición de alumnos recursantes (1° C 2021) según la cantidad de veces que repiten la materia.

Si bien la mayor parte de los recursantes repiten la materia una sola vez, es preocupante la proporción que lo hace por cuarta vez o más.
Al analizar la composición de alumnos ingresantes/ recursantes por carrera (Fig. 2) se observa que Ingeniería Civil tiene la mayor cantidad de recursantes. A priori pensamos que esto puede deberse a que Química General no es correlativa posterior de ninguna materia de 2° año en esa carrera, es decir que no les corta el cursado y por eso suele ser la primera materia que abandonan.
Para poder correlacionar mejor la repitencia con las carreras, se calculó un Índice de Repitencia (I_R) (ecuación 1):

$$I_R = \frac{Alumnos\ repitentes}{Alumnos\ ingresantes} \quad (1)$$

Este índice da cuenta de la proporción de recursantes según la carrera en la que se encuentran inscriptos (por carrera) y se detalla en la tabla 2.

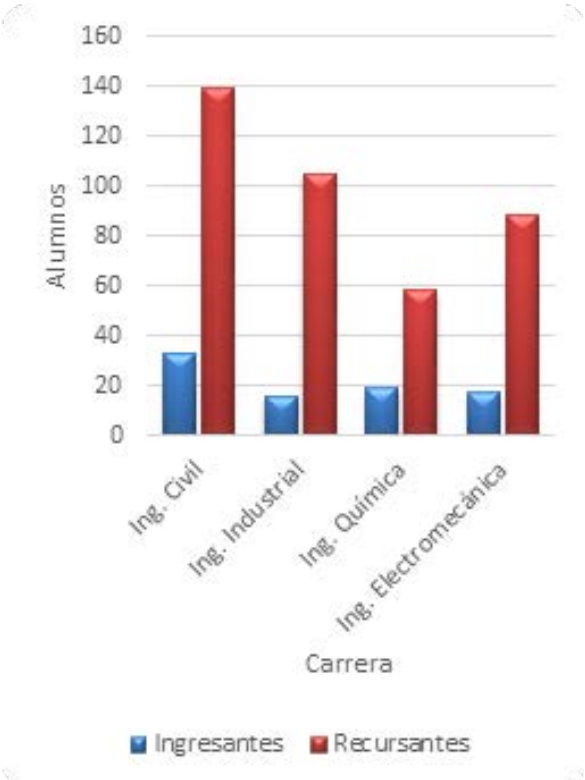


Figura 2. Composición de alumnos recursantes según la carrera.

Tabla 2. Índice de repitencia por carrera.

Carrera	I_R
Ingeniería Civil	4,2
Ingeniería Industrial	6,6
Ingeniería Química	3,1
Ingeniería Electromecánica	5,2

Del análisis de la Fig. 2 y de la tabla 2 puede concluirse que, si bien la mayor cantidad de recursantes pertenece a la carrera de Ingeniería Civil, esto es debido a que esta carrera es la que recibe más cantidad de alumnos en total. Sin embargo, la carrera de Ingeniería Industrial posee una relación más alta de recursantes. Ingeniería Química no solo posee menor cantidad de alumnos, sino que también tiene un índice de recursado mucho más bajo.
Al analizar la cantidad de veces que el alumno

recursante repite la materia según la carrera (Fig. 3), se observa que la mayor cantidad de alumnos que recursan cuatro veces o más pertenecen a la carrera de Ingeniería Industrial. También se observa una fuerte tendencia en esta carrera hacia el recursado crónico, a diferencia de las otras en las cuales, o bien no hay una tendencia definida, o la cantidad de alumnos recursantes disminuye conforme aumenta el ciclo de recursado.

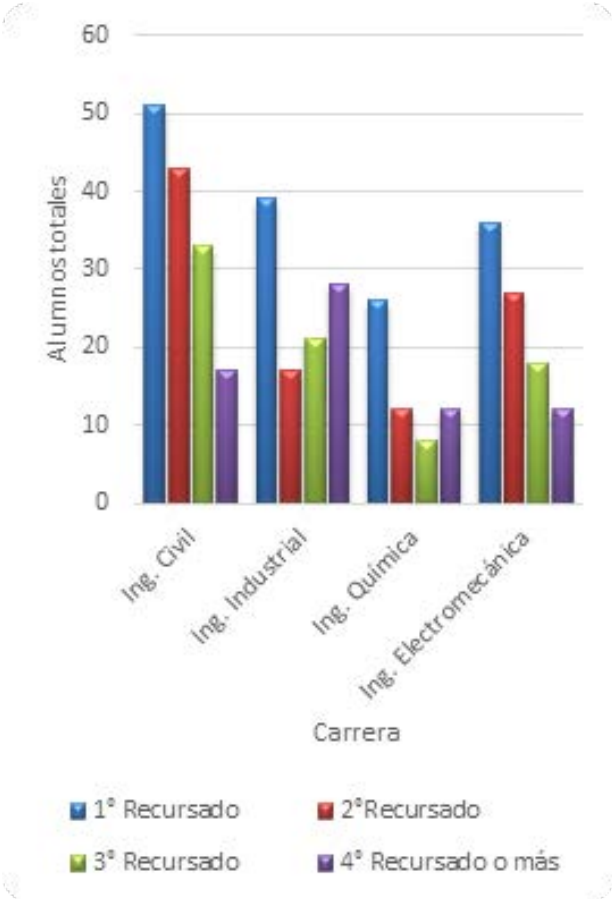


Figura 3. Proporción de alumnos recursantes de cada carrera según el número de recursados

1.4 *Preferencias por comisión*

Pueden analizarse también las preferencias del alumno recursante a la hora de elegir su comisión en la materia. Actualmente Química General ofrece cinco comisiones distribuidas de manera de abarcar la mayor cantidad de franjas horarias posibles. Las comisiones 1, 2 y 5 dictan clases por la mañana, mientras que las comisiones 3 y 4 por la tarde. Todas las comisiones se habilitan inicialmente con el mismo cupo. La elección de las diferentes comisiones por parte del alumnado depende no solo de las afinidades particulares de cada alumno por un determinado turno o docente, sino también del choque de horarios con otras materias que el alumno se encuentre cursando.
La composición del alumnado por comisión es un dato de extrema utilidad para el docente de clases prácticas a la hora de elaborar estrategias de enseñanza. En la Fig. 4 se esquematiza el porcentaje que representan los recursantes en cada comisión.

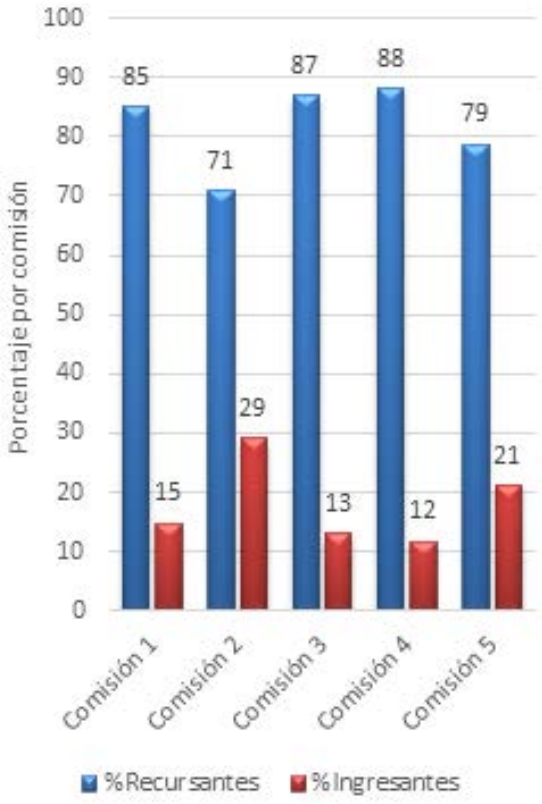


Figura 4. Composición por comisión

Se aprecia que las comisiones de la tarde son las preferidas por el alumno que recursa, seguida por la comisión 1 de la mañana.

1.5 *Rendimiento del alumno de Química General*

Para estimar el desempeño de los estudiantes en la asignatura, deben considerarse la variedad de posibles "condiciones" que alcanzan al finalizar la misma.
Si bien hay 3 grandes categorías, promocionar (P), quedar libre (L) o abandonar (AB), dentro de estas existen diferencias que se refieren a instancia del cursado en que se concreta cada una de ellas.
La promoción de un alumno se concreta cuando su nota alcanza un mínimo de 70 puntos según la fórmula polinómica definida en el reglamento de la materia que pondera su rendimiento en los parciales, evaluaciones por tema y laboratorios.
Esta promoción puede alcanzarse en primera instancia (P1) al finalizar el dictado de la materia luego de rendir el tercer parcial o en una segunda instancia posterior de recuperación (P2), luego de aprobar un examen Global (G).

Un alumno queda libre si no alcanza el requisito mínimo de aprobación de cuestionarios de laboratorio con 60 puntos, de los parciales (ya sea en primera vuelta o en su recuperación) con una nota mínima de 40 puntos o del global (cuando correspondiera) con 60 puntos. Debido a que se evalúan 3 parciales, dependiendo del momento en que quede libre se asigna las siglas L1, L2, L3 y LG correspondiendo al primer, al segundo, al tercer parcial o al global respectivamente.

Además un alumno también puede quedar en condición de libre si abandona (AB) el cursado de la materia en cualquier instancia, pero para diferenciar esta situación de la anterior, se asigna la sigla AB1 para indicar a aquellos alumnos que abandonaron el cursado ANTES de rendir el primer parcial y de manera análoga se designa AB2, AB3 y ABG para referirse al segundo parcial, al tercer parcial y al global respectivamente.

Finalmente, se consideran también a aquellos alumnos inscriptos en la materia que nunca la cursan (NC).

Teniendo en cuenta estas categorías puede analizarse el rendimiento en la materia para los alumnos ingresantes (Fig. 5.a) y recursantes (Fig. 5.b). Los porcentajes están referidos al total de alumnos ingresantes y recursantes respectivamente del 2° Cuatrimestre del 2020.

Puede verse claramente que el principal motivo de desgranamiento del alumnado en la materia es el abandono antes de rendir el primer parcial seguido por la no aprobación del segundo parcial.

La dificultad de los temas que involucra el segundo parcial (Estados de la materia, Soluciones y Termoquímica), sumado al ritmo propio de la carrera (teniendo en cuenta de que, en general, no es la única materia que se encuentran cursando) desembocaría en las dificultades para aprobar el segundo parcial.

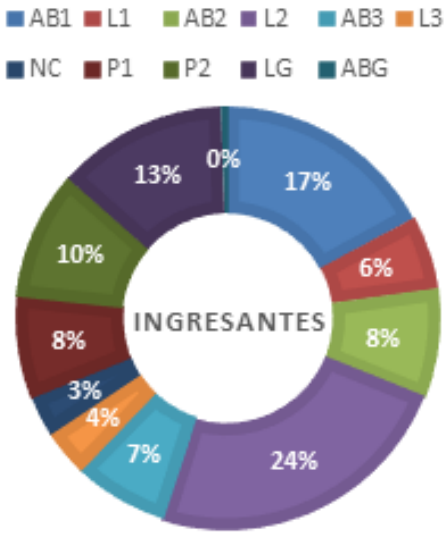


Figura 5.a. Rendimiento del alumnado ingresante (2° C 2020).



Figura 5.b. Rendimiento del alumnado recursante (2° C 2020).

Si bien es mayor el porcentaje de alumnos recursantes que aprueba el segundo parcial, se incrementa el número de éstos que queda libre en el tercer parcial. Esto es debido a que gran parte de los recursantes no llegó a cursar la segunda mitad de la materia en cuatrimestres anteriores.

Se observa que el porcentaje de abandono de los repitentes es similar al de los ingresantes. Sin embargo, la tendencia del alumnado a abandonar el cursado luego de aprobar el primer parcial disminuye drásticamente.

Teniendo en cuenta los datos del 2°C 2020 y los del 1° C 2021 se ha calculado que un 58% de los alumnos que abandonan antes del primer parcial (AB1) se vuelven a reinscribir como repitentes el cuatrimestre siguiente, es decir, no se desvinculan de la carrera universitaria. Puede desglosarse esta situación según la carrera a la que pertenecen de acuerdo a la tabla 3.

Tabla 3. Porcentajes de AB1 reinscriptos consecutivamente.

Carrera	%AB1 reincripto
Ingeniería Civil	57
Ingeniería Industrial	52
Ingeniería Química	100
Ingeniería Electromecánica	57

Se destaca que ningún estudiante de Ingeniería Química se desvinculó de la carrera. Los motivos de esta desvinculación, y que pueden conllevar a un abandono definitivo de sus estudios, pueden ser múltiples: laborales, personales, socioeconómicos, etc. (Tinto, 1982)

Teniendo en cuenta los datos de los cuatrimestres mencionados, se evaluó también el porcentaje de alumnos reincidentes que abandonan el cursado de la materia antes de rendir el primer parcial, encontrándose que un 42% de los alumnos catalogados como AB1 durante el 2°C 2020 volvieron a hacer lo mismo en el 1°C 2021. En la tabla 4 se detalla el porcentaje de alumnos reincidentes (referidos al total AB1 para cada carrera en 2°C 2020).

Tabla 4. Alumnos que abandonan reincidentemente antes del primer parcial

Carrera	%AB1 reincidente
Ingeniería Civil	41
Ingeniería Industrial	58
Ingeniería Química	17
Ingeniería Electromecánica	48

El porcentaje de reincidencia entre los alumnos de Ingeniería Química es marcadamente bajo respecto a las demás ingenierías siendo notorio el porcentaje de reincidencia en la carrera de Ingeniería Industrial. En este caso, además de las causas personales que podrían desencadenar en esta situación, cabe replantearse la laxitud régimen de correlatividades de las respectivas carreras.

1 CONCLUSIONES

En líneas generales este análisis resultó útil para entender el rendimiento de los alumnos en relación a la carrera. Se ha observado que un alto porcentaje del alumnado recursante pertenece a la carrera de Ingeniería Civil, mientras que la carrera con mayor índice de recursado es Ingeniería Industrial, que muestra una tendencia hacia el recursado crónico. Muchos repitentes no alcanzan a cursar la segunda mitad de la materia.

Desde un punto de vista externo a la cátedra puede plantearse la necesidad de un ciclo de nivelación más intensivo y eficaz en el área de Química, que genere una instancia de articulación que permita mejorar el paso de los jóvenes del nivel medio al universitario tal como propuso Oliver M.C (2011) en su trabajo referido a la problemática de Química General de la Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional Córdoba. También sería importante una revisión del régimen de correlatividades de modo de desincentivar el abandono, especialmente en las carreras de Ingeniería Civil (cuya primera correlativa con esta materia recién se encuentra tres cuatrimestres más adelante) y de Ingeniería Industrial (cuya correlativa inmediata posterior está un cuatrimestre de por medio).

Para evitar el abandono del cursado antes del primer parcial y aumentar la retención, pueden desarrollarse estrategias, como readaptar la enseñanza práctica en pos de enfocarla más hacia las áreas de interés de los alumnos de Ingeniería Civil e Industrial puesto que, tal como indica Brown (2004) en el prefacio de su libro, en la medida que los estudiantes adquieren conocimiento de la importancia de la química para sus propias metas e intereses se entusiasman más por la aprender la materia. También podría pensarse en una reorganización de contenidos y evaluaciones que permita superar la instancia del segundo parcial sin que sea en desmedro de la calidad del conocimiento adquirido.

A raíz de este análisis, la Cátedra de Química General espera poder organizar una comisión/es en la que específicamente puedan inscribirse solo alumnos repitentes, de modo de adaptar las estrategias didácticas a sus necesidades, facilitando de este modo el camino hacia la promoción del alumno recursante.

2 AGRADECIMIENTOS

A todos los docentes de la cátedra de Química General sin cuyo valioso aporte y metodismo en el llenado de la base de datos este estudio no hubiera sido posible.

3 REFERENCIAS

Brown T.L., H.E. LeMay, B.E. Bursten, J.R. Burdge, *Química. La ciencia Central,* Pearson Education, México, 2004.

Gilberto Vargas, J.C., L.S. Bustos Rios., R. Moreno Laverde, Propuesta para Aumentar el Nivel Académico, Minimizar la Deserción, Rezago y Repitencia Universitaria por Problemas de Bajo Rendimiento Académico en la Universidad Tecnológica de Pereira, en el Programa Ingeniería de Sistemas y Computación, *Scientia et Técnica: XI*, 28,145-150, 2005.

Latiesa, M., Medida del rendimiento académico a través del abandono de carrera. La deserción universitaria: Desarrollo de la escolaridad en la enseñanza superior. Éxitos y fracasos. *Deserción Universitaria en Europa. Madrid, Centro de Investigaciones Sociológicas en coedición con Siglo XXI de España Editores*, pp. 407-417, 1992.

Lattuada, M., Deserción y retención en las unidades académicas de educación superior. Una aproximación a las causas, Instrumentos y estrategias que contribuyen a conocer y morigerar su impacto, *Debate Universitario,* 10, 100-113, 2017.

Oliver, M.C., G.A. Eimer, N.F. Bálsamo, M.E. Crivello, Permanencia y abandono en Química General en las carreras de Ingeniería de la Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Córdoba (UNT-FRC), Argentina, *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 2, núm. 2, 117-129, 2011.

Tinto, V., Limits of theory and practice in student attrition, *Journal of Higher Education*, 53, 687-700, 1982.

La enseñanza y aprendizaje de objetos matemáticos en términos de dialécticas

Gómez, José I.

Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero
joseismaelgomez2@gmail.com

RESUMEN

Este trabajo se inscribe en el estudio de los procesos de enseñanza y de aprendizaje desde un punto de vista cognitivo. Se pretende exponer desde un punto de vista descriptivo y cognitivo, que tanto la enseñanza como el aprendizaje se pueden expresar en términos de dialécticas: análisis y síntesis, funciones semióticas directa y funciones semióticas inversas, conocimientos-procesos y conocimientos-estados (Piaget, 1971) Asimilamos estos pares a procesos mentales o procesos de pensamientos específicos y subyacentes de pensamientos específicos y subyacentes que guían las actividades de enseñanza y de aprendizaje, regulados preferentemente por el rol que se asume y por el objeto matemático que se maneja. Esto es; hay un proceso de pensamiento específico para el análisis, otro para la síntesis, y así para cada término de los binomios enunciados más arriba. Reconocemos también que lo emocional incide en los procesos de pensamientos, y a su vez en la enseñanza y aprendizaje en general, en matemática en particular.

ABSTRACT

This work is part of the study of teaching and learning processes from a cognitive point of view. It is intended to expose from a descriptive and cognitive point of view, that both teaching and learning can be expressed in terms of dialectics: analysis & synthesis, direct semiotic functions & inverse semiotic functions, knowledge-processes & knowledge-states (Piaget,1971). We assimilate these pairs to specific and underlying mental processes or thought processes that guide teaching and learning activities, preferably regulated by the role that is assumed and by the mathematical object that is handled. This is; there is a specific thought process for analysis, another for synthesis, and so on for each term of the binomials listed above. We also recognize that the emotional affects thought processes, and in turn, teaching and learning in general, in mathematics in particular.

Palabras clave: Enseñanza- Aprendizaje, Procesos-Estados.

Keywords: Teaching-Learning, Process-States.

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo se inscribe en el marco del Proyecto de Investigación "El pensamiento matemático avanzado en el aprendizaje de Análisis Matemático", código 23/A249 de la Facultad de Agronomía y Agroindustrias de la Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina.

Es un trabajo inicial que describe en alguna medida-tratando de entender-los procesos de pensamiento involucrados en la tarea de enseñar y aprender objetos matemáticos.

Nos proponemos exponer desde un punto de vista descriptivo y cognitivo, que tanto la enseñanza como el aprendizaje se pueden expresar en términos de dialéctica: análisis y síntesis, funciones semióticas directa y funciones semióticas inversas, conocimientos-procesos y conocimientos-estados, propuestos por Piaget (1971). Asimilamos estos binomios a procesos mentales o procesos de pensamientos específicos y subyacentes que guían las actividades de enseñanza y de aprendizaje, regulados preferentemente por el rol que se asume y por el objeto matemático que se maneja.

Queremos establecer una suerte de equivalencia entre las partes de las dualidades en que se descomponen las actividades de enseñanza y de aprendizaje con procesos de pensamiento específicos, unos que son propios del docente y otros propios del estudiante.

Reconocemos también que lo emocional incide, "para bien o para mal" en los procesos de pensamientos, y a su vez en la enseñanza y aprendizaje.

En este trabajo pretendemos describir aquellos aspectos cognitivos que pueden estar presentes en los procesos enseñanza y de aprendizaje, en los que tiene una particular importancia el objeto matemático que se maneja. Sobre esto último consideramos que el objeto matemático de estudio incide en el modo de enseñar y en el aprender.

Se asume como errónea la posición ingenua que considera que todos los conceptos se pueden enseñar y aprender de la misma manera.

Este artículo quiere aportar elementos que permitan entender -y exponer, aunque de un modo plano- qué cosas tienen lugar en materia de procesos de pensamiento, en la mente del que enseña y en la de los que aprenden objetos matemáticos.

En matemática nos manejamos con elementos simbólicos y gráficos que son visibles, y hay elementos intangibles o invisibles como el proceso mental de abstracción o proceso de pensamiento que delimitan la tarea de enseñar y la de aprender.

Distinguiremos los procesos de enseñanza y de aprendizaje en términos de: análisis y síntesis, de funciones semióticas directa e inversa, de conocimientos-procesos y conocimientos-estados (Piaget,1971). Reconocemos también que lo emocional afecta los procesos de pensamientos, y a su vez en la enseñanza y aprendizaje.

Entre las preguntas que guían este trabajo se tienen las siguientes: ¿Qué procesos mentales se debe seguir en el proceso de enseñanza para que ese o esos modos de enseñar se conecte o conecten con el modo/modos de aprender de los estudiantes? ¿Tendrá que ajustarse el modo de enseñar a los modos de aprender o, en el otro sentido, el modo de aprender a los modos de enseñar?, ó darse una "dialéctica" entre los modos de enseñar y de aprender, dialéctica que puede estar regulada por el contexto en general y por el aula en particular, donde hay un docente y estudiantes concretos. Esto es, el proceso de enseñanza como el de aprendizaje tienen que ver con el otro: el proceso de enseñanza está regulado por el objeto de conocimiento y por el contexto de trabajo donde hay un grupo de estudiantes con maneras de aprender, y hay un proceso de aprendizaje regulado a su vez por ese mismo objeto de conocimiento y ese contexto y con un docente que tiene su modo de enseñar.

Con relación al contexto, Piaget concuerda con A. Béjin, que el sistema cognoscitivo "no será lo que el entorno hace de él: será lo que él hace de aquello que el entorno hace de él". (Citado por Fernández Zalazar, 2019)

2 LA ENSEÑANZA Y EL APRENDIZAJE DE MATEMÁTICA

Desde el punto de vista de la enseñanza de un tema de matemática en particular, es desde ya importante que el docente cuente con el dominio disciplinar del tema y además, de un enfoque teórico de cómo aprenden los estudiantes.

Postulamos que la trasposición didáctica (Chevallar, pp. 16, 2020) de un objeto de estudio, de un objeto de enseñanza en general y de matemática en particular, supone un proceso de pensamiento en el docente que lo lleva a particionar, a dividir ese objeto de estudio en partes, de lo simple a lo complejo, para poder ser gestionado en el aula.

El dominio del tema por parte del docente, por un lado y la transposición didáctica por otro lado, hacen que la tarea de enseñar sea vista como una unidad, compuesta de lo matemático, lo didáctico y lo pedagógico. Y habrá tantas unidades de este tipo,

como combinaciones pueden darse de aspectos tales como: la personalidad del docente, su concepción de aprendizaje, la concepción de conocimiento, el objeto matemático en sí, el plan de estudios, la orientación de la carrera, los estudiantes, los elementos técnicos, etc.

2.1 Enseñar y aprender en términos de análisis y síntesis

Los aspectos arriba señalados tienen íntima relación con las nociones de análisis y síntesis que se instalan en las actividades de enseñanza y aprendizaje:
Los conceptos de análisis y síntesis se refieren a dos actividades complementarias en el estudio de realidades complejas. El análisis consiste en la separación de las partes de esas realidades hasta llegar a conocer sus elementos fundamentales y las relaciones que existen entre ellos. La síntesis, por otro lado, se refiere a la composición de un todo por reunión de sus partes o elementos. Esta construcción se puede realizar uniendo las partes, fusionándolas u organizándolas de diversas maneras (Bajo, 2004)
Aunque en este párrafo no se haga una mención explícita, hay procesos de pensamiento que guían estas actividades: procesos de pensamiento para analizar y otros para sintetizar.
En esta línea de conceptualización, al docente le compete realizar ambos procesos, de análisis y síntesis, y preferentemente en términos de análisis al realizar la tarea de enseñar
Por el lado del estudiante y para que haya un aprendizaje óptimo, se tienen que dar también estas dos acciones, pero preferentemente la de integración de lo recibido de parte de la enseñanza.
De modo que ambos procesos, el de enseñanza y aprendizaje suponen análisis y síntesis de un objeto de estudio, en diferentes grados y momentos de la actividad en el aula.
Hacemos extensivos a las actividades de análisis y síntesis, lo señalado por Dubinsky sobre procesos de pensamiento, en cuanto que conocer o identificar estos procesos de pensamiento puede ayudar a "describir la construcción de estructuras lógico-matemáticas por un individuo durante el curso del desarrollo cognitivo." Dubinsky, (pp. 1,2019)
En relación a un objeto a enseñar/aprender, el docente tiene que conocer qué aspectos deben estar sujetos a análisis, además de cómo y cuándo; y qué aspectos del concepto deben ser integrados (síntesis), y cómo y cuándo.
Sin embargo, en la enseñanza y aprendizaje de un objeto de estudio, en matemática en particular, hay como una suerte "zona de desarrollo próxima" (Vigotsky, pp. 86, 2020) en la que el estudiante tendrá que realizar procesos de pensamientos de aquello que el docente "le ha dejado" a su cargo a través de la enseñanza.
Queremos señalar que habrá actividades de análisis y de síntesis a cargo del docente y habrá análisis y síntesis a cargo del estudiante.
En el caso de matemática, esta ciencia tiene, a priori, su modo de enseñar y de aprender.
Según Garbin, "[Es] fundamental tener en cuenta que la forma en que se aprende no suele coincidir con la manera lógica formal de presentar un concepto matemático ante la comunidad matemática." (Garbin, S., 2019)

3 EL OBJETO DE ESTUDIO U OBJETO DE CONOCIMIENTO

Si tomamos en cuenta el objeto matemático de estudio, no es lo mismo enseñar y aprender la noción de función que la de límite, por citar un ejemplo. En relación a esto, consideramos que es sumamente importante el modo de iniciar el proceso de enseñanza de una noción. Planteamos la existencia de que hay algo que funciona como "puerta de entrada" del objeto de estudio, diferente en uno y en otro objeto, que, si se equivoca en esta elección, la construcción de un conocimiento puede tardar más de lo conveniente. Hay una suerte de "laberinto" propuesto por el objeto de estudio, tanto para el docente como para el alumno: se tienen que encontrar el proceso de enseñanza con el de aprendizaje.
Una manera de aproximarnos a la solución de este problema consiste en que el docente proponga diferentes registros (verbal, gráfico, geométrico, resolución de problemas, analítico) al desarrollar un tema, que puedan ajustarse a los modos de aprender de los estudiantes.
Consideramos que la tarea de enseñar y de aprender abarca mucho más que lo cognitivo, didáctico o pedagógico: es un encuentro de la persona del docente en su totalidad, con la persona única e irrepetible de cada estudiante en particular, y del grupo en general.

4 FUNCIONES SEMIÓTICAS

Teniendo en cuenta la característica descriptiva-cognitiva de este trabajo, consideramos importante introducir la noción de función de signo de Hjelmslev, que Eco (pp. 83, 1979) denomina 'función

semiótica', que se refiere a correspondencias que se pueden establecer entre aquellos elementos visibles tales como: gestuales, escritos, verbales, gráficos, etc., y aquellas ideas o pensamientos o significados asignados a esos tales.
Una función semiótica establece dependencias entre partes de un texto en la que una parte designa o denota alguna otra; la primera llamada plano de expresión, funciona o se pone en representación de la segunda, llamada plano del contenido, esto es, señala hacia un contenido que hay fuera de la expresión.
Para Godino una función semiótica es una correspondencia que pone en juego tres componentes: "Un plano de expresión (objeto inicial, considerado frecuentemente como el signo); un plano de contenido (objeto final, considerado como el significado del signo, esto es, lo representado, lo que se quiere decir, a lo que se refiere un interlocutor); un criterio o regla de correspondencia, esto es, un código interpretativo que regula la correlación entre los planos de expresión y contenido, estableciendo el aspecto o carácter del contenido referido por la expresión" (Godino, 2003,pp.151)
Nosotros nos apartaremos un poco de estas consideraciones al considerar funciones semióticas en las que el punto de partida sea, no solo un elemento del plano de expresión como propone el Enfoque Ontosemiótico de la Cognición Matemática, sino que sea también un plano de contenido situado en la mente del sujeto que hace una correspondencia según ciertas reglas.

4.1 Función semiótica directa e inversa

Sobre la noción de función de signo de Hjelmslev, se presentan las nociones de funciones semióticas directa e inversa.
Se postula como función semiótica directa, a la que realiza un sujeto que establece una correspondencia entre elementos que expresan o representan algo y un objeto llamado contenido o representado. En símbolos, tenemos: $E \to C$ (correspondencia de expresión E a contenido C)
En el desarrollo de la actividad matemática, las funciones semióticas van evolucionando en sus planos de expresión y de contenido, al involucrar cada una, nuevos y más potentes elementos que los que tenía la función semiótica anterior.
Supongamos que una función semiótica directa $E \to C$, E contiene un símbolo de derivada o la expresión 'derivada'. Como contenido C se le puede asignar su definición como límite de un cociente incremental, como variación local de una función en un punto del dominio, o como función (derivada) según el contexto.
Es decir, se pueden asociar diferentes nociones, interpretaciones o significados para una misma expresión o significante.
Cada asignación de una noción o significado a una expresión dada viene a ser una función semiótica diferente y por ende se tienen las siguientes funciones semióticas directas:

$$E \to C_1, \quad E \to C_2, \; E \to C_3, \ldots \qquad (1)$$

Por otra parte, cuando una persona ha elegido expresarse de un modo verbal, escrito, simbólico o gráfico para representar aspectos de un objeto mental que está en él, en su plano cognitivo (personal), está haciendo un acto de semiosis *inversa* o *función semiótica inversa* de la anterior, de tipo $C \to E$ (correspondencia de contenido C a expresión E).
En este caso, se tiene diferentes maneras de indicar simbólicamente una misma noción. Por ejemplo, a la noción de derivada de una función se le puede asociar los símbolos:

$$f'(x), \; y', \; \frac{dy}{dx} \qquad (2)$$

Aquí vale un comentario análogo al de las funciones semióticas directas, en cuanto que cada asignación de una expresión o signo a un cierto contenido, es una función semiótica inversa diferente.
Se tienen las siguientes funciones semióticas inversas:

$$C \to E_1, \; C \to E_2, \; C \to E_3, \ldots \qquad (3)$$

Se asume la construcción o establecimiento no sólo de diferentes funciones semióticas, sino también que cada una de ellas es una evolución de la anterior o anteriores, y también, la equivalencia entre ellas.

4.2 Los procesos de enseñanza y aprendizaje como funciones semióticas

Podemos considerar a los procesos de enseñanza y aprendizaje en términos de funciones semióticas directa e inversa: el proceso de enseñanza viene a ser – en una versión simplificada- una función semiótica inversa de tipo $C \to E$, (correspondencia de contenido C a expresión E) donde C designa los contenidos que resultan de procesos mentales del docente en su tarea de organizar los objetos de estudio a enseñar,

y E, lo visible, las expresiones escritas, simbólicas, gestuales, lo enseñado, lo transmitido.
Y, por otro lado, el proceso de aprendizaje viene a ser una función semiótica directa $E \rightarrow C$, (correspondencia de expresión E a contenido C), en el que ahora C designa lo que surge del proceso mental en el estudiante, a partir de la enseñanza.
En una forma simplificada, podemos afirmar que el proceso de enseñanza empieza en los procesos mentales del docente y termina en sus diferentes formas de expresión; mientras que el proceso de aprendizaje empieza en las formas expresivas que ha elegido el docente para transmitir el objeto de estudio y termina en los procesos mentales del estudiante, siguiendo formas institucionales y personales de aprender.

5 ELEMENTOS EMOCIONALES EN PROCESOS DE PENSAMIENTO

Postulamos que los procesos mentales de una persona, en particular, en docentes o estudiantes, implicados en las actividades de un salón de clase, son atravesados por cuestiones emotivas o efectos emocionales, que quedaron como huellas de experiencias educativas anteriores, favorables o no. Se da una especie de mixtura entre lo emotivo y lo cognitivo en los procesos de pensamiento, tanto en el proceso de enseñanza como de aprendizaje.
Esto permite señalar que, en el proceso de enseñanza, el docente transmite en esa correspondencia de contenido a expresión, ese compuesto de elementos cognitivos con elementos emotivos; y a su vez, lo que el estudiante internaliza es un compuesto de elementos cognitivos y emotivos o afectivos, aportados por ese proceso de enseñanza.
Tanto el docente como el alumno, reproducen y adquieren en cierta medida y respectivamente, lo internalizado. El docente transmite de alguna manera lo aprendido y el estudiante aprende, en alguna medida, lo enseñado.
Se tiene, por ejemplo, la actividad de resolución de problemas: Una de las dificultades en su aprendizaje es la presencia de bloqueos mentales originados eventualmente en los primeros años de escolaridad y que subyacen en años posteriores y que entorpecen los aspectos cognitivos o intelectivos en los procesos de pensamientos posteriores.
Se suele plantear la tarea de resolver un problema en términos de competitividad: el ¿quién ha terminado primero?, deja un tendal de alumnos a medio terminar o medio empezar y solo unos pocos han respondido satisfactoriamente. Esta situación puede generar en los que no pudieron hacer la tarea, la idea que *hay que tener talento para las matemáticas, que la matemática no es para todos* y quedan bloqueados, a tal punto que la resolución de problemas en años siguientes *es un problema*, no sólo matemático sino también vital.
Queremos recalcar que los contextos de enseñanza y de aprendizaje aportan elementos emotivos o afectivos a los procesos de pensamiento, ya sea generando o trayendo a la superficie situaciones anteriores.
Es posible que haya procesos cognitivos puros cuando el estudiante ha realizado la tarea de abstracción, o abstracción reflexiva, como dice Piaget, al internalizar acciones más bien externas llevadas a cabo sobre un objeto de estudio determinado.

6 OBJETOS Y PROCESOS

Cuando hablamos de contenidos en una función semiótica, entendemos no sólo aquellos que tienen que ver exclusivamente con un objeto de conocimiento, por ejemplo, los objetos “punto”, “recta” o “integral definida”, etc., sino también, son contenidos los procesos de pensamiento que permiten articular objetos entre sí y formar nuevos objetos y nuevos procesos.
Es decir, en el plano de contenido tenemos objetos y procesos. Tanto uno como el otro son el resultado de abstracciones realizadas por el sujeto a través de procesos mentales.
Los contenidos que aquí abordamos -de naturaleza mental en este tipo de funciones semióticas- son todos procesos de pensamiento, es decir, si uno se imagina un contenido asociado a una expresión y a un objeto de conocimiento, por ejemplo, el objeto “derivada”, este contenido es un proceso de pensamiento que se ha formado con otros múltiples procesos de pensamiento. A nivel mental, no se da la distinción entre proceso por un lado y producto u objeto por otro lado, sino que todo es proceso y es objeto a la vez, aunque de momento, se hable del contenido-objeto “derivada” como si fuese simplemente un resultado o producto de procesos de pensamiento y no fuese, además, un proceso.

6.1 Conocimiento-proceso y conocimiento-estado

Si asumimos que una función semiótica es un conocimiento, y además es un proceso, resulta que

un conocimiento es un proceso. Para reafirmar esta concepción, puntualizamos lo expuesto al respecto por Piaget, el fundador de la Psicología genética:

"Ahora bien, la influencia convergente de una serie de factores ha hecho que en la actualidad el conocimiento vaya siendo considerado progresivamente más como un proceso que como un estado. La epistemología de los filósofos de las ciencias es en parte la causante de este cambio." (Piaget, pp.8, 9, 1971)

Una función semiótica asumida como correspondencia entre expresión y contenido, de acuerdo a ciertas reglas, es conocimiento en acción que genera o pretende generar nuevos conocimientos. Por medio de los sentidos y de acuerdo a las reglas propias de la disciplina y del contexto, en el proceso de enseñanza y aprendizaje los conocimientos *"van al encuentro"* de expresiones para convertirlas en nuevos conocimientos o modificar conocimientos anteriores.

Tanto el conocimiento-estado como el conocimiento-proceso operan en forma articulada, de tal modo que, no puede haber conocimiento-proceso si no hay conocimiento-estado y recíprocamente, no hay conocimiento-estado si no hubo previamente un conocimiento-proceso. Es decir, estas formas de conocimiento son intercambiables: un conocimiento-estado da lugar a un conocimiento- proceso, hasta que este nuevo conocimiento adquiera el rango de conocimiento-estado; naturalmente ambos diferentes a lo anterior, y se repite si se quiere, estas situaciones. Hay una línea espiralada ascendente, que se amplía en cada vuelta o ciclo entre un conocimiento y otro.

El conocimiento estado varía con el conocimiento proceso: hay una articulación entre el primero y el segundo; el conocimiento-contenido o conocimiento proceso "trabaja" sobre el conocimiento- expresión o conocimiento-estado, y el efecto de esa reelaboración se hace nuevamente conocimiento-estado. Desde el punto de vista de las funciones semióticas, se puede identificar como elementos del plano de contenido los conocimientos-proceso, a los que el sujeto que realiza un acto de semiosis directa o función semiótica directa hace corresponder a ese conocimiento como elementos expresivos o del plano de expresión, conocimientos-estados.

En el plano de contenido que está en el sujeto que realiza una función semiótica de tipo inversa, se ubican los procesos mentales o procesos de pensamiento que dan lugar a conocimientos-estado.

El proceso de enseñanza viene a ser una correspondencia de conocimientos-procesos a conocimientos-estados, y a su vez, el proceso de aprendizaje como correspondencia de conocimientos-estados a conocimientos-procesos.

En general y para ser más precisos, el proceso de enseñanza y aprendizaje es un entramado de funciones semióticas directas e inversas, de conocimientos-procesos y conocimientos-estados, en contextos apropiados.

El proceso de enseñanza supone un sujeto que enseña y alguien que aprende, y a su vez, el proceso de aprendizaje supone un sujeto que aprende y alguien que enseña. Se puede tener situaciones "triviales" en estos procesos: que sea la misma persona la que enseña y aprende, o bien la que aprende y enseña. Es decir, hay procesos de enseñanza y aprendizaje intercambiables, en el sentido que el sujeto que enseña también aprende y recíprocamente, el que aprende también enseña.

Desde el punto de vista de las funciones semióticas, el docente es el que realiza la correspondencia de contenido a expresión, y el estudiante el que lleva a cabo la correspondencia de expresión a contenido. Cuando el contenido elaborado por el estudiante coincide (en parte) con el contenido del docente y en la devolución del estudiante, sus elementos de expresión coinciden con los empleados por el docente, se puede decir desde el docente que hubo enseñanza y desde el estudiante, que hubo aprendizaje. También son válidas las relaciones opuestas: si se dan las coincidencias (aunque más no sean parciales) entre contenidos del docente con los del estudiante y de las expresiones de ambos, el estudiante puede afirmar que hubo enseñanza y el docente, que hubo aprendizaje.

Por otra parte, si se atiende a que en los actos de semiosis hay una relación de solidaridad entre expresión y contenido, podemos decir que el conocimiento-estado viene a ser un conocimiento-proceso expresado o significante, y a su vez, el conocimiento-proceso viene a ser un conocimiento-estado connotado o significado.

El conocimiento-estado revela los procesos de pensamiento o conocimientos-procesos que hay detrás, y por su parte, los conocimientos-procesos se pueden modificar a partir de conocimientos-estados.

Los procesos de enseñanza y aprendizaje pueden ser vistos en términos de correspondencia entre conocimientos: el proceso de enseñanza como correspondencia de conocimientos-procesos a conocimientos-estados, y el de aprendizaje, como correspondencia de conocimiento-estado a conocimiento-proceso.

Podemos encontrar en este aspecto, una explicación de lo expuesto por Garbín en cuanto que la forma de aprender no suele coincidir con la manera lógica formal de presentar un concepto matemático ante la comunidad matemática. (Garbín, S., 2019).

El docente presenta conocimientos-estados a partir de conocimientos-procesos, mientras que el estudiante realiza conocimientos-procesos a partir de conocimientos-estados.

7 CONCLUSIONES

Expusimos en este trabajo y desde un punto de vista descriptivo y cognitivo, que la enseñanza como el aprendizaje se pueden expresar en términos de: análisis y síntesis, de funciones semióticas directa e inversa, de conocimiento-proceso y conocimiento-estado.

A su vez, asimilamos estas instancias a procesos de pensamientos específicos y subyacentes que guían las actividades de enseñanza y de aprendizaje, regulados preferentemente por el rol que se asume y por el objeto matemático que se maneja.

Pusimos de manifiesto la dialéctica entre los procesos de enseñar y de aprender, en términos de análisis y síntesis, funciones semióticas directas e inversas y de conocimiento proceso y conocimiento estado; que si bien en ambos procesos (enseñanza y aprendizaje) están presentes, siempre hay en uno de estos procesos, mayor preponderancia de uno de los elementos que del otro, de los pares mencionados.

Así, en el proceso de enseñanza hay mayor análisis que síntesis, más funciones semióticas directas que inversas y más conocimientos procesos que conocimientos estados, y ocurre lo inverso en el proceso de aprendizaje; pero de modos que pueden como equipararse, en este sentido: Cuando el docente gestiona la enseñanza de un tema, prevalece el proceso de análisis y, a su vez de modo simultáneo, hay una tarea de síntesis por parte de los estudiantes.

Un comentario similar se puede hacer con respecto a las funciones semióticas: cuando el docente realiza funciones semióticas directas, el estudiante establece funciones semióticas inversas; y así con el conocimiento proceso (a cargo del docente) y conocimiento estado (a cargo del estudiante).

Habrá otras instancias en las que estas actividades visibles y de pensamiento se van intercambiando a medida que transcurre la clase, en pos de la construcción de un conocimiento.

A modo de síntesis de estas situaciones, se puede concluir que el docente está preferentemente del lado de la teoría, y el estudiante preferentemente del lado de la práctica.

Señalamos también a manera de conclusión, que nada es exclusivamente proceso de enseñanza como tampoco de aprendizaje. Si bien desde un punto de vista formal y de hecho, el docente está a cargo de la enseñanza y los estudiantes a cargo del aprendizaje, el primero también aprende y los segundos también enseñan. Sin embargo, hay procesos mentales o procesos de pensamiento esencialmente diferentes en uno y en otro caso.

8 REFERENCIAS

Piaget, J., *Psicología y Epistemología,* Editorial Planeta-Agostini, pp. 8,9 (1971)

Fernández Zalazar, D., La teoría de la Equilibración, Un modelo explicativo del desarrollo cognitivo. *URL:https://docplayer.es/23894287-La-teoria-de-la-equilibracion-un-modelo-explicativo-del-desarrollo-cognitivo.html.* 1.10.2019.

Chevallard, Y., *La transposición didáctica, Del saber sabio al saber enseñado,* AIQUE Grupo Editor. *URL:file:///C:/Users/PROPIE~1/AppData/Local/Temp/11DID_Chevallard_Unidad_3.pdf.(1998).* 2.3.2020.

Bajo, M.T., Formación y evaluación de la competencia análisis y síntesis, *___https://innovacioneducativa.upm.es/competenciasenericas/formacionyevaluacion/analisis Síntesis)* (2004), 1.10.2019.

Dubinsky, E., Aplicación de la perspectiva piagetiana a la educación matemática universitaria, *"Educación matemática",* Vol.8, nro.3. *http://funes.uniandes.edu.co/10056/1/Aplicacion1996Dubinsky.pdf.* (1996). 4.9.2019.

Vigotsky, L.S., El *desarrollo de procesos psicológicos superiores,* Editorial Crítica. Grupo Editorial Grijalbo, Barcelona. *http://www.terras.edu.ar/biblioteca/6/TA_Vygotzky_Unidad_1.pdf* (1978).10.3.2020.

Garbín, S., Investigar en pensamiento Matemático, Capítulo 10. 5.6.2019.

Hjelmslev, L., *Prolegómenos a una teoría del Lenguaje,* Versión española de José Luis Díaz Liaño, Segunda edición, 1º reimpresión Editorial Gredo. (1943).

Eco, U., *Tratado de Semiótica General*. Editorial Lumen. (2000).

Godino, J.D., Teoría *de las Funciones semióticas.* Trabajo de investigación presentado para optar a la Cátedra de Universidad de Didáctica de la

Matemática de la Universidad de Granada.
http://www.ugr.es/local/jgodino (2003).9.3.2015.

La derivada de la composición de funciones

Gómez, José I.

Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero
joseismaelgomez2@gmail.com

RESUMEN

En este trabajo presentamos un estudio del objeto 'derivada de la composición de funciones' tanto desde lo conceptual como de las prácticas docentes. Exponemos las dificultades que conlleva su enseñanza y aprendizaje, vinculadas a la complejidad propia de este concepto, como a cuestiones semióticas relacionadas preferentemente a la aplicación de la regla de la cadena.
Destacamos dos aspectos bien marcados: la composición de funciones y la derivación de esta composición, separados ambos por un lapso de tiempo importante y los objetos de conocimientos desarrollados en él. Brindamos algunas ideas intuitivas con respecto a la composición, que pueden permitir su introducción y nos valemos de una metáfora para explicar los procesos que se dan entre ambos aspectos. Consideramos brevemente la definición de la derivación de funciones compuestas, como aparece en algunos textos de Cálculo. Finalmente abordamos la problemática de la derivación de la composición vinculada a diferentes tipos de funciones que aparecen en dicha composición.

ABSTRACT

In this work we present a study of the object 'derived from the composition of functions' both from the conceptual point of view and from the teaching practices. We expose the difficulties that its teaching and learning entails, linked to the complexity of this concept, as well as semiotic issues preferably linked to the application of the chain rule.
We provide some intuitive ideas regarding composition, which may allow its introduction, and we use a metaphor to explain the processes that occur between the two aspects. We briefly consider the definition of the derivation of compound functions, as it appears in some Calculus texts. Finally, we address the problem of the derivation of the composition linked to different types of functions that appear in said composition.

Palabras clave: Funciones – Derivación- Universidad- Educación

Keywords: Functions- Derivation- University- Education.

1 INTRODUCCIÓN

Estamos interesados en estudiar dos aspectos importantes de la Didáctica de la Matemática: La naturaleza de los objetos matemáticos que se desarrollan en clase como en las prácticas docentes asociadas a ellos. Con respecto a la primera cuestión consideramos que cada objeto de conocimiento tiene una complejidad matemática propia, asociada a sus orígenes, desarrollo histórico, formulaciones, definiciones, lenguajes y aplicaciones, específicas de ese objeto, que no es necesariamente la misma para otros objetos. Con respecto al segundo aspecto, creemos que las prácticas docentes asociadas a un objeto de conocimiento a desarrollar en clase, determinan en gran medida, las prácticas de los estudiantes en su proceso de aprendizaje.

En el vértice de estas dos vertientes se encuentra este objeto 'derivada de la composición de funciones', de cuyo estudio nos abocamos en este trabajo.

En Cálculo o Análisis Matemático de la Universidad, además de las operaciones con funciones, se tiene una combinación de ellas que se denomina composición de funciones, que está presente a lo largo del proceso de enseñanza y aprendizaje de esta asignatura, desde funciones de una variable hasta funciones de varias variables.

Hay funciones que son composición de dos o más funciones, aunque a simple vista no lo parezca. La composición de funciones presenta la mayor dificultad de comprensión y a su vez, de dominio, en el terreno de las derivadas, en lo que se conoce también como regla de la cadena. Al aplicar esta propiedad en ejercicios concretos, hay estudiantes que "se pierden" en el proceso de derivación de una función en un argumento y al derivar la función argumento.

Surge entonces la pregunta: ¿Dónde reside la dificultad para comprender esta regla de la derivada de una función compuesta? Y en el caso de detectar esa problemática, cuáles serían los cursos a seguir o estrategias pedagógicas y didácticas a aplicar con vistas a reducir ese campo de problemas.

Debemos tener presente que existen conceptos, como el que es objeto de nuestro estudio, o como el de límite, que tienen de por sí, un nivel de abstracción superior al de otros objetos de conocimientos.

Pero desde el punto de vista de los contenidos a enseñar dentro de un programa de Cálculo, los objetos de conocimientos están "todos en la misma bolsa", en cuanto a este aspecto: todos son enseñables, todos se pueden aprender y todo tiene que ser dentro de un cuatrimestre.

Puede ser una posición ingenua asumir que todos los conceptos pueden ser adquiridos o construidos con un mismo nivel de facilidad, o que su comprensión depende casi exclusivamente de un abordaje didáctico o pedagógico. Sobre esto señalan Contreras y Ordóñez (2006):

De esta forma, nos alejamos de posturas ingenuas y excesivamente pedagógicas, cuya hipótesis de aprendizaje es "una buena distribución por objetivos y una buena metodología deben ser suficientes para que el alumno aprenda", lo cual conlleva al fracaso académico del estudiante.

Tenemos entonces un primer punto de partida: El concepto de derivada de composición de funciones supone un alto grado de abstracción, inherente al concepto mismo.

Esto nos conduce a un segundo punto: El campo de dificultades vinculado a su comprensión por parte de los estudiantes se puede reducir, no eliminar.

Primero abordaremos la composición de funciones y luego, su derivación.

2 LA COMPOSICIÓN DE FUNCIONES: SU ABORDAJE DIDÁCTICO

La idea intuitiva que solemos presentar en el comienzo de la enseñanza de la composición es la de cadena de montaje, de ensamble de dos dispositivos, donde hay un elemento que ingresa en el primero, sale de allí con una cierta transformación para ingresar en otro dispositivo que, a su vez, contiene otro proceso que actúa sobre el resultado del proceso anterior, para dar un producto o composición de dos procesos.

En nuestras clases se suele mencionar para ilustrar estas ideas, la fabricación de una gaseosa o de un jugo de frutas. Por ejemplo, se piensa en un jugo de naranjas: ingresa la naranja en un cierto dispositivo que se ocupa de lavarla, pasa a otro dispositivo que pela, a otro que exprime, a otro que cuela el líquido, a otro que agrega agua, endulzantes, gas, conservantes, etc., y ese producto final, viene a ser como la "composición" de funciones o procesos realizados sobre el objeto naranja como si éste fuera el argumento x de una función.

O en diagramas de Venn, donde se puede apreciar la condición necesaria de composición: que el recorrido de la función f, esté incluido ampliamente en el dominio de la función g.

Con relación a este último aspecto, es posible ver en libros de Cálculo, por ejemplo en Bradley y Smith (1998), que no se le presta demasiada atención a esta condición para la existencia de composición de funciones: por un lado, se expresa en la definición, pero por razones pedagógicas, seguramente, como que su verificación se posterga para más adelante, a los efectos que se comprenda primero el mecanismo de la composición. En su lugar se suele dar como ejemplos, funciones polinómicas que verifican la condición necesaria de composición.

En otra etapa se suele presentar casos donde hay que hacer restricciones en el dominio de la función de la

izquierda.
Son ajustes que se van haciendo en el proceso de enseñanza y aprendizaje, hay que dejar que el alumno "se ensucie" sus manos en la resolución de ejercicios para luego avanzar o afianzar sobre cuestiones conceptuales un poco más duras.
Este es otro aspecto que presentan libros de Cálculo (Cálculo de una variable, de Bradley y Smith, 1998), como, por ejemplo, en el capítulo de límites, lo demostraciones de teoremas se presentan hacia el final, después de haber trabajado con nociones básicas. Más aun, se denomina teoría de límites a esa última parte, como para dar a entender que lo anterior forma parte de lo práctico o utilitario de la noción de límite.
La práctica docente sobre composición de funciones consta principalmente de dos partes: una en la que se presentan las funciones a componer, y la otra, en la que aparece la función compuesta, cuyas funciones componentes hay que identificar y ordenar. Se da entonces un ida y vuelta en esta ejercitación, con miras a su mejor comprensión. Cabe señalar que la segunda parte es la que más se presenta en el estudio, tanto de derivadas como en la integración, y nos referimos a funciones tales como:
$h(x) = (x^3 - 2x)^2$ o $h(x) = sen^3(x)$
Después de ver límite y continuidad, se ingresa al capítulo de derivadas, y en esta parte, vuelve a aparecer la composición de funciones, que es el tema de este trabajo, con relación a las dificultades tanto en su enseñanza como en su aprendizaje.

3 LA DERIVADA DE LA COMPOSICIÓN DE FUNCIONES

La derivada de una función compuesta aparece en Gómez (2020, p.221) en la forma siguiente:

Teorema: La derivada de una función compuesta
Sea $f: A \to B$ *una función derivable en* A *y* $g: B \to C$, *una función derivable en* B, *entonces* gof *es derivable en* A *y se cumple que:*

$$(gof)'(x) = g'(f(x)).f'(x) \qquad (1)$$

Para todo $x \in A$.

En esta definición se resuelve la cuestión del recorrido de la función f, como parte del dominio de la función g, presentando como el mismo conjunto, en este caso B.
Algo similar ocurre en Bradley y Smith (1998, p.141):

Teorema 2.10. Regla de la cadena:
Si $y = f(u)$ *es una función derivable de* u *y* $u = g(x)$ *es una función derivable de* x, *entonces* $y = f(g(x))$ *es una función derivable de* x *y*

$$\frac{dy}{dx} = \frac{dy}{du}\frac{du}{dx} \qquad (2)$$

Se puede observar que (2) está escrito en la notación de Leibniz, no así la (1) que sigue la notación de Lagrange.
Bradley y Smith (1998) advierten que $\frac{dy}{dx}$ no es una fracción, aunque después se definirá dy y dx.
Convenimos que, de ahora en más, consideraremos para su análisis, la composición de funciones de la forma gof.
En esta composición, primero se tiene la función f y después aparece la función g, sin embargo, en la formulación matemática se tiene estas funciones al revés, g aparece primero, a la izquierda y f a continuación, a la derecha.
En esta disposición de las funciones puede haber una primera dificultad en la comprensión de este objeto de conocimiento. Es probable que este cambio mencionado de los órdenes de las funciones confunda a la mente acostumbrada a "leer y escribir" (y porque no a procesar) de izquierda a derecha y que se conserve el orden establecido de un comienzo. Más aún, al leer la fórmula matemática gof, se dice f compuesta con g.
La resolución de ejercicios de derivada de funciones compuestas se centra exclusivamente en lo que se conoce como regla de la cadena:

$$(gof)'(x) = g'(f(x)).f'(x) \qquad (3)$$

El alumno se aboca a resolver esta expresión, dando por hecho la derivabilidad de las dos funciones, y que el recorrido de la función f está en el dominio de la función g.
La definición de derivada de funciones compuestas presenta las dos funciones en orden, una primera a la izquierda, la otra a la derecha, a continuación de la primera, que acciona sobre la anterior. En cambio, en la primera parte de la práctica, normalmente se presentan las dos funciones en forma separada, actuando cada una de ellas sobre el mismo argumento x: *Dadas las funciones* f *y* g, *definidas por:*

$f(x)$ *y* $g(x)$, *obtener si es posible* $(gof)(x)$ *y* $(fog)(x)$ (4)

En la práctica de la derivación de funciones compuestas se distinguen dos partes principales: *Dadas las funciones* f *y* g, *definidas por:* $f(x)$ *y* $g(x)$, *obtener*

si es posible $(gof)'(x)$ y la otra parte, más extendida es, por ejemplo:

Sea $h(x) = (x^3 - 2x)^2$, *obtener* $h'(x)$.

En respuesta a este tipo de ejercicios, el estudiante tendrá que determinar cuáles son las funciones componentes y su orden, con miras a la aplicación de la regla de la cadena.
Es decir, se pretende que el estudiante identifique esa "línea" de composición dada en este caso por:
$x, f(x), g(f(x))$ (5)
y luego obtenga $h'(x) = (gof)'(x)$

4 LA METÁFORA DE DESARMAR Y REARMAR UN DISPOSITIVO

La derivada de la composición de funciones supone un proceso de "desarmar" algo, desarmar un dispositivo, un aparato cuyas partes va poniendo o desplegando en una mesa, en un cierto orden, de afuera hacia adentro, de izquierda a derecha en una mesa, por ejemplo, previendo que cuando se arme de nuevo, después de "arreglada la falla" se pueda recomponer el aparato o dispositivo.
Si consideramos la composición de funciones y luego su derivación, esto se puede expresar en términos de *armar-desarmar- volver a armar* algo.
La derivación de la composición supone un proceso inverso de la composición: se deriva primero sobre la segunda función, digamos $g\ en\ f(x)$, para multiplicar luego por la derivada de f en x.
La derivación de la composición "supone rearmar el dispositivo o aparato recientemente desarmado: se comienza considerando (o derivando) "lo interno" o "más interno", hasta llegar a tomar (o derivar) la parte más externa. Es decir, se comienza por la última parte que se desarmó o que se puso en la mesa, del lado derecho, para ir por las partes más externas o primeras, que se puso en la parte izquierda "de la mesa".
Desde un punto de vista conceptual, la derivación de la composición de funciones supone un volver al punto de partida, pero en un nivel superior, como es el de derivar las funciones anteriores.
También es importar resaltar que en este "ida y vuelta" de la composición y su derivación posterior que, al componer funciones se trabaja con la idea o noción de argumento de una función: x es argumento de la función f, la que, a su vez será argumento de la función g.
Mientras que, en la derivación se tiene un producto de derivadas, comenzando por la de la función g, en la función argumento $f(x)$, por la derivada de esta última función en x.
En la composición de funciones y en su derivación, se dan como dos procesos de pensamiento: uno de análisis y otro de síntesis, respectivamente, siendo el segundo.
Se puede ver en este ejemplo del dispositivo o aparato que se desarma, cuyas partes o piezas se exponen sobre una mesa en forma ordenada, para volver a armarla en el orden recíproco, como una metáfora de los procesos de pensamiento que eventualmente se llevan a cabo en la derivación de funciones compuestas.

5 LA COMPOSICIÓN Y SU DERIVACIÓN EN TÉRMINOS DE SÍNTESIS, ANÁLISIS Y NUEVAMENTE SÍNTESIS

Brindamos ahora otra mirada a los procesos de componer funciones para luego derivarlas.
Se trata de ver estas operaciones bajo los aspectos de síntesis, análisis y nuevamente síntesis, de armar, desarmar para luego volver a rearmar. Según Bajo (2004):
Los conceptos de análisis y síntesis se refieren a dos actividades complementarias en el estudio de realidades complejas. El análisis consiste en la separación de las partes de esas realidades hasta llegar a conocer sus elementos fundamentales y las relaciones que existen entre ellos. La síntesis, por otro lado, se refiere a la composición de un todo por reunión de sus partes o elementos. Esta construcción se puede realizar uniendo las partes, fusionándolas u organizándolas de diversas maneras

6 REGLA DE LA CADENA: NUESTRA PRÁCTICA DOCENTE

Un punto de vista a considerar en la práctica docente, es que hay funciones compuestas que presentan un grado mayor de dificultad a la hora de derivar: no es lo mismo una composición de funciones polinómicas que una que tenga funciones trigonométricas.
Nuestra práctica docente nos indica que es precisamente en el terreno de las funciones trigonométricas donde el estudiante comente más errores en la tarea de derivar.
Una digresión: La noción de argumento de una función trigonométrica suele ser una fuente de dificultad para el estudiante. La expresión de una función trigonométrica en una variable, no tiene la entidad de algo "blindado", que es una "sola cosa", que es un número real, que es el valor de la función en un cierto punto o número. Hay estudiantes que ven en esto como dos partes, la función por un lado y su argumento por otro.
En la composición de funciones se tiene que, el argumento de una función trigonométrica es también otra función de una variable x.
Como decimos más arriba, en la derivación de esta composición donde se tiene una función

trigonométrica de una función de x, aparece la dificultad de ver esta expresión, por ejemplo: $\cos(x^2+1)$, como una sola cosa, que a la hora de derivar se la trabaja como tal, derivando primero la función coseno en ese argumento, para luego derivar recién el argumento.

Suele ocurrir que, por razones de tiempo, dado un ejercicio de derivada de composición de funciones, se va directamente a la aplicación de la regla de la cadena, pasando por alto el procedimiento de la composición de funciones: que en el caso de gof, primero se considera f, y finalmente g, sobre la función anterior.

Por ejemplo, si consideramos nuevamente lo propuesto más arriba, que podemos escribir como $h(x)=\cos(x^2+1)$, se va directamente a la regla de la cadena, sin mostrar al estudiante, el orden de composición de las funciones.

También hay prácticas docentes en las que se suele indicar al estudiante que la primera función en la composición o función de ingreso o primer "dispositivo" o función que será argumento de la siguiente, es la expresión que contiene la variable independiente x, y finalmente la función coseno.

Primero tiene que ingresar "la naranja" a la cadena de montaje, para obtener finalmente "el jugo de naranja", dicho en términos más simples o coloquiales.

El "atajo" que puede ser la aplicación directa de la regla de la cadena a una función compuesta dada, puede tener su "costo" en la comprensión del proceso a realizar o realizado.

La resolución de la derivada de una función compuesta puede suponer la realización de los siguientes pasos, que, a su vez, supone la comprensión de los siguientes procesos:

El orden en la composición de funciones: $x, f(x), g(f(x))$

La última parte significa que hay una función que es argumento de otra.

La derivación es finalmente un proceso de "vuelta atrás" en un nivel superior: se deriva primero la última expresión funcional que se tiene, $g(f(x))$, para derivar finalmente la función argumento, expresado esto como producto de derivadas.

7 LA FUNCIÓN POTENCIAL EN LA REGLA DE LA CADENA

Es práctica común que en el tema que nos aboca, la derivación de funciones compuestas, se les presente a los estudiantes no solo dos funciones a derivar sino tres o más funciones.

Tomemos por caso la siguiente función:

$h(x)=cos^3(x^2)$

Suponiendo que se les formulara a los estudiantes, la pregunta: ¿Cuántas funciones componentes hay aquí?, es muy probable que transcurra un buen tiempo para que ellos respondan y lo hagan bien.

Otra cuestión más general todavía y que tiene que ver con el proceso de enseñanza y aprendizaje de matemática, en general: ante una pregunta como la anterior, ¿cuántos estudiantes asumen como propio, el responder esta cuestión de funciones componentes, y cuántos no la asumen, porque se dan por vencidos o no les interesa y dejan que los otros respondan? Este aspecto va más allá del tema de derivada de funciones compuestas que ahora nos ocupa.

Una tarea sumamente compleja para el estudiante es la de discriminar y exponer en el orden correcto, las funciones componentes y otra también difícil, la de aplicar la derivada de la composición.

Normalmente, en nuestras prácticas docentes no se les pide la primera de estas tareas, sino el de enfocar la atención en resolver la segunda.

Una cuestión que tener en cuenta en la dificultad de la comprensión de la derivada de la función compuesta está dada por el hecho que la composición de funciones se expuso un tiempo atrás, al final de la unidad de funciones. Después vino el estudio de límite y continuidad, para recién empezar a estudiar, como corresponde, la unidad de derivadas.

Y por si esto fuera poco, la derivación de funciones compuestas aparece promediando esta unidad.

De modo que la enseñanza de la composición de funciones y su eventual aprendizaje, quedó lejos o no aparece o no está lo suficientemente sólido como para agregarle un proceso más complejo aún como es el de derivar aquello. Se presenta la necesidad pedagógica de volver a enseñar composición de funciones para poder estudiar su derivación.

8 CONCLUSIONES

Este trabajo se ubica en el estudio de la conjunción de la naturaleza de los objetos matemáticos que se desarrollan en clase y de las prácticas docentes asociadas a ellos. Estas cuestiones no son disociables en un proceso de enseñanza y aprendizaje de objetos matemáticos aun en el nivel universitario.

Con respecto a la primera cuestión consideramos que cada objeto de conocimiento tiene una complejidad matemática propia, asociada a sus orígenes, desarrollo histórico, formulaciones, definiciones, lenguajes y aplicaciones, específicas de ese objeto, que no es necesariamente la misma para otros objetos. Con respecto al segundo aspecto, creemos que las prácticas docentes asociadas a un objeto de conocimiento a desarrollar en clase, determinan en gran medida, las prácticas de los estudiantes en su proceso de aprendizaje.

Abordamos un tema que tiene como dos partes principales: la composición de funciones, por un lado, y la derivación de aquellas, por otro. Hemos expuesto

las dificultades que poseen ambas en el proceso de enseñanza y aprendizaje, pero especialmente la segunda.

Como primer punto que enunciamos es el de reconocer que este objeto de conocimiento, la derivada de funciones compuestas, tiene en sí misma, un grado de abstracción importante y, por ende, de dificultades para su comprensión, más allá de las estrategias docentes que se pueden implementar con miras a su aprendizaje.

Señalamos como dificultad el orden en que aparecen las funciones en su presentación y el cambio de orden en que aparecen escritas en la formulación matemática de la composición y finalmente el orden en que finalmente son derivadas.

En la composición de funciones se tiene como es lógico, una relación funcional, en el sentido de vinculación de dominio y recorrido; mientras que en la derivación de la composición aparece el producto de derivadas de aquellas en un orden si se quiere invertido. En la derivación hay una vuelta atrás, pero en otro nivel de resolución.

En vistas al manejo efectivo de la regla de la cadena, se suele dejar de lado el aspecto de la definición que hace referencia al recorrido de la función primera dentro del dominio de la función siguiente. La verificación rigurosa de las condiciones de la composición se "suspende" con el propósito de facilitar la comprensión y aprendizaje de la derivación: Lo pedagógico por encima del rigor matemático.

El lapso de tiempo que hay entre la enseñanza de composición de funciones y su derivación, es un elemento que atender en el estudio de las dificultades en la comprensión de este tema del programa. Hay una "discontinuidad" en el tiempo y en los objetos de conocimientos abordados entre un tema y el otro.

Urgidos por el tiempo material de enseñar este tema y que aprendan a derivar funciones compuestas, la práctica docente lleva a pretender que el estudiante aplique de un modo casi inmediato, la regla de la cadena.

Consideramos que el discriminar las funciones componentes y su orden en la composición de las mismas, puede ser un elemento pedagógico importante para un mejor aprendizaje tanto en el objeto 'composición' como en el de 'derivación de funciones compuestas'. Recuperar la génesis de la composición puede ser un paso importante para un efectivo aprendizaje de la regla de la cadena. El saltear este paso puede significar lentitudes posteriores en su comprensión.

Lo que vale cuesta, y cuesta tiempo básicamente.

Otros aspectos importantes a destacar:

Que, al aplicar la regla de la cadena, el alumno tenga la imagen de "rearmar" algo en el orden inverso al que fue "desarmado" ese objeto.

Que el argumento de una función trigonométrica no se modifica en la derivación, no es algo que se pueda "desconectar" de esa función, pero lo que si aparece o tiene que aparecer a continuación es la derivada de ese argumento.

El mismo comentario vale para funciones potenciales (o raíces), en cuanto que la base de ellas, a la manera de argumento de una función trigonométrica, se mantiene como está en la derivación de la función potencial, para luego multiplicar por la derivada de dicha función base de la potencia.

Señalamos finalmente que pretendimos poner a la luz, aspectos que están presentes, visibles o no, en este proceso de estudio y comprensión de estos objetos de conocimientos, composición de funciones y su derivación, que están presentes a lo largo de todo el Cálculo.

9 REFERENCIAS

Bajo, M.T., Formación y evaluación de la competencia análisis y síntesis, *https:// innovacioneducativa.upm.es/competenciasenericas/ formacionyevaluacion/analisis Síntesis)* (2004), 1.10.2019.

Bradley, G.L. y Smith, K.J., CALCULO de una variable. Volumen I, Prentice Hall Iberia, Madrid, 1998

Gómez, J., *Cálculo Diferencial, 2da edición.* Editorial Idearte Gráfica. Santiago del Estero, 2020.

Inglada A.,Font, V., Significados institucionales y personales de la derivada, Conflictos semióticos relacionados con la notación incremental, *XIX Jornadas del SI-IDM.* Córdoba. http://www.ugr.es/~jgodino/siidm/cordoba_2003/IngladaFont.pdf (2005), 4, 3, 2018.

Contreras A., Font, V., Luque, L., Ordóñez, L., Algunas aplicaciones de la teoría de las funciones semióticas a la didáctica del análisis. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 25 (2), 151–186, 2005.

Contreras A y Ordóñez L., Complejidad ontosemiótica de un texto sobre la introducción a la integral definida. *Relime* Vol. 9, Núm. 1, pp. 65-84 http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-24362006000100004&lng=es&tlng=es.15,08, 2006.

Sentimiento hacia el aprendizaje virtual en tiempos de pandemia

Musso, Graciela M.[1]; Galarza, Claudia[1]; Gea, Gabriel[1]; Fanchini, M. Silvia[1]

(1) Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Salta.
gachymusso@gmail.com; claudiavgalarza@gmail.com; gabriel.gea@gmail.com; silviafanchini@gmail.com

RESUMEN

Docentes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Salta, integrantes del Proyecto CIUNSa. N° 2351, nos propusimos lograr una interdisciplinariedad conceptual y metodológica entre varias asignaturas del área básica, planteando la implementación de herramientas digitales para el refuerzo cognitivo de los contenidos impartidos en las asignaturas del primer año del Ciclo Común de Articulación (CCA) de todas las Carreras de nuestra Facultad, a través de una plataforma educativa a distancia. El escenario de emergencia sanitaria declarado a nivel mundial nos obligó a reprogramar las actividades académicas en tiempos y espacios diferentes a los de la presencialidad, lo que implicó un proceso de resignificación del trabajo docente. En tal sentido, desarrollamos acciones pedagógicas y organizativas para adecuar las propuestas formativas a la virtualidad. En el presente trabajo presentamos, el efecto que provocó la nueva realidad de enseñanza en los alumnos. El objetivo que nos propusimos fue ajustar nuestras acciones al nuevo contexto para que basados en la interdisciplinaridad entre las cátedras podamos acercar los conceptos previos comunes en forma virtual de manera más inmediata. La metodología que utilizamos para recabar información fue mediante una encuesta diagnóstico de situación. En conclusión, la mayoría de los alumnos manifiesta que no tiene mayores dificultades para tomar clases virtuales, expresando su opinión sobre las ventajas y desventajas del distanciamiento.

ABSTRACT

Professors of the Engineering Faculty from the National University of Salta (UNSa), members of the CIUNSa Project N ° 2351, set out to achieve a conceptual and methodological interdisciplinarity between various subjects of the basic courses, proposing the implementation of digital tools for the cognitive reinforcement of the contents taught in the subjects of the first year of the Common Cycle of Articulation (CCA) for all the Careers in our Faculty, through a virtual educational platform. The health crisis declared worldwide forced us to reshuffle academic activities in times and spaces different from those of in-person, which implied a process of giving meaning to the teaching process. In this sense, we developed pedagogical and organizational actions to adapt the teaching proposals virtually. In our present work, we demonstrate the effect caused by the new teaching reality in students. The objective we set out for ourselves was to adjust our actions to the new reality so that, based on the interdisciplinarity between the professorship, we can bring together the previous common concepts to a virtual instance, more effectively. The methodology used to collect information was through a diagnostic survey of the situation. In conclusion, most of the students state that they do not have major difficulties in taking virtual classes, through expressing their opinions about the advantages and disadvantages.

Palabras clave: Interdisciplinariedad – articulación - virtualidad.

Keywords: Interdisciplinarity – joint - virtuality

1. INTRODUCCIÓN

El inicio del año lectivo 2020 nos sorprende con una terrible pandemia que nos hace reformular el cómo aprender y el cómo enseñar, en ello se involucra principalmente la tecnología, metodologías y principalmente estrategias de motivación dado que como docentes no podíamos ver el rostro y las expresiones de nuestros alumnos debido al distanciamiento sanitario obligatorio. En el marco del proyecto de Investigación del CIUNSa. N° 2351 denominado "Interdisciplinariedad entre Cátedras", nos encontrábamos realizando una consulta sobre un tema específico para llevar a cabo nuestras acciones de articulación. En ese momento suspendimos todas las actividades, esperando retomarlas 15 días después, 15 días que se extendieron hasta el presente. Ante esta nueva realidad tuvimos que adaptarnos a un estilo de enseñanza y de aprendizaje que era exclusivo de un minúsculo sector de estudiantes o profesionales, y que desde hace más de un año se generalizó sin previo aviso. Pasado el primer cuatrimestre decidimos conocer el sentir de los alumnos en esta nueva manera de vivir o transitar el proceso educativo, para lo cual implementamos una encuesta a modo de recabar información al respecto. Nos planteamos una serie de preguntas con la intención de detectar la opinión de los alumnos para reunir datos con el propósito de generar nuevas acciones que nos permitan contribuir al mejoramiento de la enseñanza en estos tiempos que vivimos. Tal instrumento se aplicó a estudiantes de las materias que participan en el mencionado proyecto de investigación de la Facultad de Ingeniería, como las Cátedras de Análisis Matemático I, Análisis Matemático de la Tecnicatura Universitaria en Tecnología de Alimentos (TUTA), Sistemas de Representación y Física II. Para las encuestas se realizaron tanto preguntas de respuesta abiertas como de respuestas cerradas en las que se tuvo en cuenta la organización de los alumnos para llevar adelante sus estudios tanto en tiempos, en tecnologías necesarias para ello, espacio físico e interrelación familiar al sufrir el aislamiento por todos conocidos.

2. DESARROLLO

En el estado actual de situación en el que siguen suspendidas las clases presenciales, nos pareció interesante conocer la opinión de los alumnos acerca de la forma en que hemos encarado las actividades, abocándonos al dictado virtual en cada una de las asignaturas, comenzando en forma intuitiva y luego perfeccionándonos a través de talleres, webinarios y otras capacitaciones; utilizando la plataforma Moodle, las salas de videoconferencias provistas por la Facultad y algunos docentes el WhatsApp. Realizamos encuestas a los efectos de tomar decisiones orientadas a la resignificación de nuestra tarea docente. Una consulta se hizo al interior de la cátedra de Sistemas de Representación, cuya población es superior a la de las demás asignaturas, y otra en estas últimas.

2.1 *Composición de la población sobre la que se realizó la encuesta*

La consulta se realizó sobre una cantidad de estudiantes que cursan asignaturas del área básica de las cuatro carreras de ingeniería y la TUTA, aproximadamente unos 300 alumnos, más 882 de Sistemas de Representación. Cursamos la invitación a responder en forma totalmente anónima, a través de cuestionarios enviados por la plataforma Moodle. Nuestro objetivo era contar con información que nos permita conocer, no solo la opinión, sino también el volumen de respuesta. En este aspecto, hubo escasa participación de los estudiantes, a excepción de los de Sistemas de Representación. Para validar las respuestas lo primero que necesitábamos conocer era si habían tenido oportunidad de asistir a clases presenciales o no. La primera pregunta apuntaba a conocer este dato.

2.2 Medios tecnológicos usados por los docentes en las clases virtuales

Los alumnos afirman que reciben las clases, tanto de teoría como de práctica, principalmente por la plataforma Moodle, le siguen las videoconferencias tipo Zoom o similares, y en tercer lugar el WhatsApp. El uso de Mail, foros y otros medios también forman parte de las herramientas de comunicación, pero en menor medida.

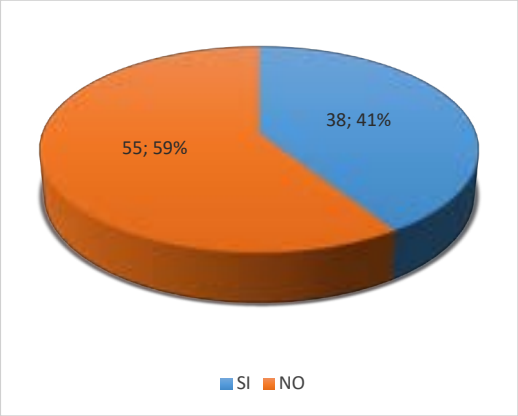
2.3 Medios de comunicación disponibles por los alumnos

El celular constituye la herramienta masiva que disponen los alumnos para recibir clases virtuales, aun para aquellos con dificultades económicas. Un pequeño porcentaje posee además algún otro dispositivo como computadora, notebook o Tablet. El WhatsApp es el medio por excelencia que más usan los alumnos para comunicarse. Muy pocos el mail o el servicio de mensajería que provee la plataforma.

3. ENCUESTA DE OPINIÓN RESPECTO A LAS CLASES VIRTUALES

1- *¿Tuviste oportunidad de cursar en forma presencial alguna asignatura?*

Esta primera pregunta tuvo el propósito de conocer si los alumnos habían tenido alguna clase presencial, o todo lo que cursó hasta el momento fue en forma virtual. Solo respondieron 93 alumnos. Podemos observar, ver Fig. 1, que casi un 60 % del alumnado encuestado, no tuvo oportunidad de cursar ninguna asignatura en forma presencial.



2 - *¿Cuáles de los aspectos requeridos en el aprendizaje virtual consideras como ventajas y cuales como desventajas respecto de la enseñanza presencial si es que anteriormente cursaste en la etapa presencial? (al menos tres)*

En relación a las ventajas, las respuestas estuvieron enfocadas en dos aspectos, por un lado, las clases virtuales propiamente dichas y por otro la comodidad del hogar.

Entre las primeras, consideran que la principal ventaja es que pueden ingresar a clase y tomarla de manera adecuada, cómoda y con mejor visibilidad, ya que no se encuentran a varios metros de la pizarra, a diferencia de la presencialidad donde debían llegar al menos con dos horas de anticipación para conseguir una buena ubicación en el aula, especialmente a comienzos del cuatrimestre. Siempre hay lugar en un aula virtual, mientras que en los anfiteatros solo caben unos pocos estudiantes, por otro lado, el acceso al material didáctico es directo y gratuito. Así mismo, destacan la predisposición y el esfuerzo de una gran parte de profesores que se preocuparon por esta situación anormal e hicieron que sus clases sean muchísimo más apasionantes, con el agregado de que luego las subían a YouTube, Google drive o plataforma, brindándoles la posibilidad de revisar reiteradas veces la resolución de problemas o indicaciones especiales. Las clases grabadas pueden ser reproducidas en cualquier momento, lo cual es muy beneficioso para quien no dispone un horario acorde al calendario. Respecto a la presentación de prácticos, es muy flexible, se abre una wiki y de manera grupal todos presentan sus correspondientes contribuciones (de esta forma es muy participativo) además que las consultas ante cualquier duda los profesores dejan en la plataforma distintos materiales, PDF de libros, resúmenes, apuntes, consideran que el equipo de profesores de muchas materias hace un trabajo más que completo.

En cuanto al segundo aspecto, los alumnos manifiestan la gran ventaja de no tener necesidad de trasladarse a la universidad, ya sea localmente, desde el interior o incluso algunos desde provincias vecinas, lo que les permite un ahorro de tiempo y de dinero. La disposición para entrar a clases o clases de consulta, con un solo clic, sin movilizarse tanto por la universidad, disminuyendo la posibilidad de llegar tarde y perderse algo. Más horas de descanso. Todo esto conlleva a la optimización de la organización del tiempo de estudio y trabajo, y además permite no sufrir las inclemencias del clima.

Entre las principales desventajas enumeradas por los estudiantes está la falta de conectividad tanto por parte de ellos como de los docentes. El acceso a internet depende de varios factores, proveedores de señal, cortes de energía, no contar con computadora, Tablet o cualquier dispositivo óptimo para poder acceder a las clases y materiales, y también poder subir sus prácticos. Sin olvidar que se debe tener un mínimo conocimiento de cómo utilizar ciertas aplicaciones. Depender de errores de los servidores de la sala de cómputos a la hora de los parciales, o errores con la plataforma para evaluaciones por temas, o bien, mantenimientos del Moodle. Una desventaja enorme fue en el factor económico, ya que muchos tuvieron problemas para poder cursar, sea por la exigencia de periféricos (micrófono, cámara, etc.) o por la poca conectividad en su zona. La desigualdad



social entre los estudiantes impide que algunos puedan cursar virtualmente en estos años. Otros refieren que hay poca comunicación de algunos (varios) profesores hacia los alumnos, a los que les importa poco realmente si aprenden, lo que daban a entender era que "si entendiste el PDF bien, sino arréglate"

2- *¿La organización de tu tiempo para estudiar y realizar las tareas académicas, ha variado en la nueva modalidad?*



En lo que respecta a la organización del tiempo para estudiar o realizar tareas, casi el 70% contesta que ha variado mucho en el nuevo escenario con respecto a la presencialidad. Ver Fig. 2.

Manifiestan que les resulta más difícil administrar los horarios para estudio y realización de actividades de la universidad incluso, aunque paradójicamente dispongan de más tiempo. Sienten que es un exceso de horas sentados frente a la computadora.

3- *¿Cómo consideras la incidencia del factor tiempo que se te asigna en evaluaciones por temas y parciales?*

En cuanto al tiempo asignado a las evaluaciones o parciales, el 70 % aproximadamente contesta que es adecuado, mientras que el 30 % restante consideran que se redujo notablemente el horario disponible para realizar las evaluaciones o parciales. Las evaluaciones automatizadas en las plataformas, a todo o nada, poseen un límite de tiempo muy corto. Ver Fig. 3.

4- *El espacio interpersonal en este proceso hace referencia a la relación que se establece con el docente, los compañeros, ayudantes de cátedra, y el entorno familiar. En ese sentido, ¿Cómo percibes esto en la virtualidad respecto de tu experiencia de la presencialidad en la enseñanza (Nivel Secundario o Universitario)?*

En relación al espacio interpersonal las opiniones están divididas en dos grupos: los que perciben a la virtualidad como positiva y los que no. Entre los primeros responden que la experiencia es buena, que aprendieron a manejar mejor las herramientas de internet e incluso la computadora, que les permitió tener una comunicación más abierta y directa en el ámbito de la facultad. En el entorno familiar les ayudó a estar más presentes. Les resulta cómodo tomar las clases desde sus casas. Se sienten conectados con los profesores y compañeros, y a su vez siguen compartiendo con su familia, cosa que en la presencialidad estarían todo el día en la universidad y solo dormirían en casa. Entre las respuestas del segundo grupo, opinan que la relación con los compañeros es casi nula porque no llegaron a conocerse durante la presencialidad y les resulta difícil socializar con nuevos compañeros mediante esta modalidad. Respecto a la relación con los docentes y ayudantes de cátedra, no es la misma que durante la presencialidad. Ahora las dudas se plantean en foros y el tiempo de respuesta suele ser elevado. En ocasiones las dudas pueden ser respondidas durante una clase.

Se necesita reforzar esta relación entre docentes-alumnos y alumnos-alumnos por la dificultad de atender casos puntuales de dudas. También la falta de relación entre pares estudiantes por compartir y reflexionar ejercicios a modos comparativos o con



distinto nivel de llegada. El 50% del conocimiento lo propone el docente y el otro se completa en esas relaciones de charla entre alumnos. En la presencialidad era más dinámico entablar relaciones de compañerismo.

5- *Insertos en la actualidad en la enseñanza virtual nos interesa conocer tu sentir con ella:*
¿Trabajas igual que antes?
¿Estás conforme con tu rendimiento?
¿Te sientes más cansado de lo normal?

En cuanto al sentimiento hacia la virtualidad, nos interesó conocer los tres aspectos que se indican a continuación:

- ¿Trabajas igual que antes? Ver Fig. 4.1



- ¿Estas conforme con tu rendimiento? Ver Fig. 4.2





¿Te siente más cansado de lo normal? Ver Fig. 4.3

Observamos que solo el 23 % de los encuestados siente que trabaja de igual manera que en la modalidad presencial. Solo el 38 % está conforme con su rendimiento y el 62 % se siente más cansado o desanimado.

En referencia a las preguntas realizadas de los alumnos que cursan Sistemas de Representación cuya participación fue mayor, las respuestas fueron las siguientes:

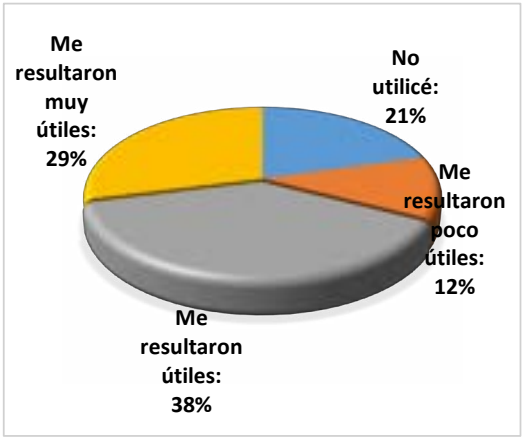
1– *¿Cómo es la conectividad en la zona donde vives? ¿Qué dispositivos utilizas para ingresar al aula virtual?*

En relación a la conectividad, al inicio del cursado, verificamos que, si bien el 91% de los alumnos se conecta por una alguna red wi fi, solo el 51% manifestó contar con ese recurso en la zona en donde vive. Por otro lado, el 38% declaró tener algún problema de conectividad.

2– *¿Te resultaron útiles los videos explicativos de las láminas?*

En cuanto a los videos explicativos de láminas la mayoría afirma que son útiles o muy útiles. Empezar de cero sin indicaciones se les hace difícil, pero con los tutoriales se sienten dirigidos por el profesor y pueden ejecutar la tarea con mayor tranquilidad. Ver Fig. 5

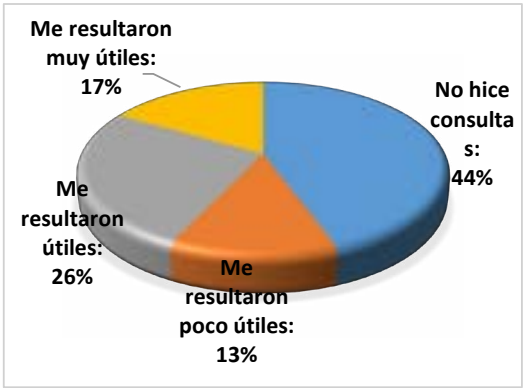
3– *¿Te resultaron útiles las consultas por WhatsApp con los compañeros?*



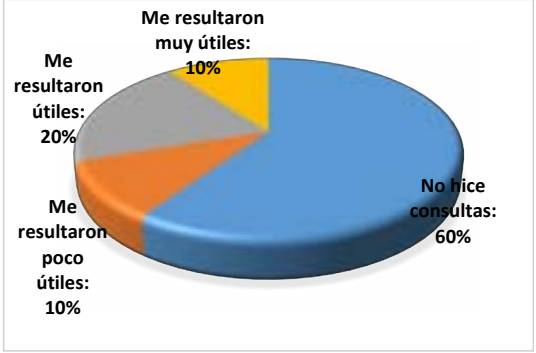
En lo que respecta a las consultas con compañeros por WhatsApp, al 67% les resultaron útiles o muy útiles. Los jóvenes usan esta herramienta como medio masivo de comunicación. Ver Fig. 6

4– *¿Cómo observaste las consultas por mensajes con los docentes?*

En relación a las consultas por mensajes con los docentes, un 45% responde que nunca hizo este tipo de actividad. Sienten un poco de recelo de molestar al profesor o auxiliar. Del resto, al 43% les pareció de utilidad mientras que al 13% restante, no. Ver Fig. 7.



5– *Las consultas en los foros ¿fueron de utilidad?*



Finalmente, sobre la utilización de los foros de consulta, el 60% responde que no los utilizo.

Para muchos de los alumnos eran desconocidas las potencialidades de las herramientas virtuales, tardaron en aprenderlas y utilizarlas. Al 30% de los restantes les resultaron útiles y a un 10% no. Ver Fig. 8.

4. CONCLUSIONES

Del análisis de las encuestas realizadas consideramos que los pilares que sostienen a los alumnos son los docentes, donde la misión en la enseñanza virtual es ofrecer una educación de calidad mediante recursos tecnológicos innovadores, entre ellos el uso de plataformas educativas, videoconferencias, bibliotecas digitales y redes de aprendizaje, con el fin de desarrollar y fomentar una enseñanza de calidad centrada en el alumno y de formar personas íntegras, éticas y preparadas para enfrentar los desafíos emergentes que le expone la sociedad del conocimiento. Para ello cada uno de nosotros encaró, por sus propios medios, su capacitación en el diseño de estrategias innovadoras.

La pandemia no solo alteró y modificó nuestras formas de interacción académica sino otros aspectos que debieron adaptarse y resignificarse al nuevo escenario del proceso de enseñanza-aprendizaje en modalidad virtual. El desafío implicó un gran esfuerzo para el equipo que tuvo que adaptar contenidos, trabajos prácticos, evaluaciones, material de consulta, clases, etc. de cada asignatura. Incorporamos nuevas estrategias pedagógicas para que el alumno logre mayor autonomía en su recorrido académico.

Por otra parte, observamos que los alumnos se sienten cómodos en este nuevo escenario. Consideran que la virtualidad les permitió ser más responsables en la organización del tiempo de estudio y manejo adecuado de las tecnologías de la información. Lo que muestra que alcanzaron la suficiente madurez en el aprendizaje significativo en esta nueva modalidad. En cuanto a las relaciones interpersonales tuvieron la dicha de compartir más con su entorno familiar y a la vez socializar con sus compañeros y profesores.

Nuestra responsabilidad implica estar al pendiente de cualquier dificultad de los estudiantes en cuanto al acceso al curso, las dudas referentes a las actividades, los conflictos personales generados durante el proceso y la generación de un ambiente colaborativo en línea, siempre observando que los alumnos desarrollen competencias como la de aprender a aprender nuevos conocimientos en la construcción de su discernimiento y, sobre todo, preparándolos para interactuar con otros estudiantes o docentes en el resto de la carrera.

6. Referencias

Basabe, P. Educación a distancia: en el nivel superior. Mexico. Trillas. 2007

García, A. (2002). *La educación a distancia. De la teoría a la práctica.* España: Ariel Educación.

Bobadilla, M. J., Miño Vargas, D., y Rago, M., (2020) "Hacia una pedagogía en la virtualidad: ¿Vincularidad en tiempos de pandemia?", en Red Sociales, Revista Electrónica del Departamento de Ciencias Sociales, Vol. 07, N° 05, p. 25-34.

Castañeda, L. y Adell, J. (2011). "El desarrollo profesional de los docentes en entornos personales de aprendizaje (PLE)

Hidalgo, M. F. (2021) Clase 2: "Estrategias de enseñanza y de aprendizaje mediadas por tecnologías".

Llorente Cejudo, Cabero Almenara y Barroso Osuna (2015). El papel del profesorado y el alumnado en los nuevos entornos tecnológicos. En: Cabero Almenara y Barroso Osuna (coords.) Nuevos retos en tecnología educativa (Pp. 217-237). Madrid, España: Síntesis.

Tecnologías para el Aprendizaje. Uso Estratégico de las Actividades

Martínez, Julieta[1]; Ramírez, Norma E.[1] y Domínguez, Orlando.[2]

(1) Facultad de Ingeniería, CiUNSa, Universidad Nacional de Salta, INIQUI-CONICET.
jmartinez@ing.unsa.edu.ar; normaramirez0402@gmail.com
(2) Facultad de Ingeniería, CiUNSa, Universidad Nacional de Salta.
odominguez@ing.unsa.edu.ar

RESUMEN

Resulta fundamental preguntar qué tipo de aprendizajes se promueven a partir de las actividades que se proponen a los estudiantes universitarios. En la materia de Diseño de Procesos, los estudiantes asisten de manera sincrónica tanto a las clases teóricas como prácticas virtuales con un total de ocho horas semanales. Aunque en tiempos de pandemia no se consideran las asistencias obligatorias, ya que la asistencia a estas clases virtuales está supeditado a la disponibilidad de internet de cada estudiante (si disponen de red, wifi, banda ancha, paquetes de datos, etc.) los estudiantes disponen de los videos grabados de cada clase, los que pueden ver de manera asincrónica. Ante el escenario de suspensión de la presencialidad, el docente necesita gestionar la clase y re-aprender a hacerlo en otro ámbito y en poco tiempo. En este sentido es importante remarcar que enseñar en la virtualidad, implica mucho más que trabajar con herramientas, plataformas o aplicaciones digitales, requiere un rediseño integral de la propuesta educativa, lo que se podría denominar deconstrucción y reconstrucción educativa.

ABSTRACT

The types of learning that are promoted from the activities that are proposed to university students take on greater importance. In the subject of Process Design, students attend both theoretical and virtual practical classes synchronously with a total of eight hours per week. Although in times of pandemic, compulsory attendance is not considered, since attendance at these virtual classes is subject to the availability of the internet for each student (if they have a network, Wi-Fi, broadband, data packets, etc.) the students have the recorded videos of each class, which they can watch asynchronously. Faced with the scenario of suspension of attendance, the teacher needs to manage the class and re-learn to do it in another area and in a short time. In this sense, it is important to note that teaching in virtuality implies much more than working with tools, platforms or digital applications, it requires a comprehensive redesign of the educational proposal, which could be called educational deconstruction and reconstruction.

Palabras claves: Tecnología, Aprendizaje, TPACK, ABP

Keywords: Technology, Learning, TPACK, ABP

1. INTRODUCCIÓN

La materia Diseño de Procesos está ubicada en el primer cuatrimestre del cuarto año de la carrera de Ingeniería Química, Plan 1999 modificado, de la Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Salta (UNSa). Diseño de Procesos tiene una carga horaria de 8 horas semanales, repartidas en 4 horas de teoría y el resto de práctica presencial, lo que hace una carga horaria anual de 120 horas.

El plan de estudios de la carrera se compone de treinta materias con un régimen de dictado cuatrimestral, régimen de aprobación promocional y con una duración de cursado de cinco años.

En la Fig. 1 se pueden visualizar las conexiones de la asignatura con las materias que se dictan en el mismo cuatrimestre, que son las que se ubican en forma horizontal; y con las materias correlativas, las que se conectan en forma vertical.



Figura 1. Conexiones de la asignatura Diseño de Proceso en horizontal y vertical.

El dictado de la asignatura en el primer cuatrimestre de cuarto año es simultáneo con el dictado de Operaciones Unitarias II y Gestión de la Empresa. Desde el punto de vista de las correlatividades: Química Orgánica, Cinética Química y Operaciones Unitarias I son correlativas de Diseño de Procesos; y en el curso inmediato superior Diseño de Procesos es correlativa de Diseño Mecánico de Equipos y Operaciones y Procesos.

En el periodo lectivo 2021 cursan la materia 39 estudiantes. A principios del cuatrimestre se realizó una encuesta a los estudiantes para conocer la situación en la que viven, se les consulto por la conectividad de sus hogares, si trabajan aparte de estudiar, si tienen algún tipo de discapacidad, si tienen a cargo algún familiar. Las respuestas fueron las siguientes:

- Con respecto a la conectividad: 35 estudiantes disponen de wifi en sus casas, el resto se conectan mediante paquetes de datos en sus casas. Ninguno solicito la beca de conectividad que brinda la Universidad Nacional de Salta.
- Varios estudiantes expresaron los siguientes argumentos cuando se les consulto si presentaban alguna imposibilidad no controlada para tener un cursado correcto de la materia: falta de conectividad por la mañana, tener familiares a cargo, tener una sola computadora en casa, siendo varios hermanos que deben acceder a la educación del tipo virtual, etc.
- Con respecto a alguna discapacidad: 9 estudiantes reportan baja visión como discapacidad. 1 estudiante reporta tener síndrome de Asperger y tener problemas con algunas palabras que interpreto de otra manera.
- 10 estudiantes trabajan.
- 2 estudiantes reportaron tener familiar a cargo.
- 4 estudiantes viven en localidades del interior.
- 6 estudiantes no poseen computadoras para ellos solos.
- 6 estudiantes no disponen de un espacio cómodo para su estudio (aislado de ruidos, etc.).

2. PLANIFICACIÓN

Para la planificación de la materia Diseño de Procesos, se considera que los elementos trabajados en el modelo denominada Conocimiento Tecnológico, Pedagógico del Contenido o en inglés, *Technological, Pedagogical and Content Knowledge (TPACK),* pueden enriquecer las clases y, más aun, teniendo en cuenta lo señalado por los autores Harris y Hofner (2009):

1. Un uso más consciente, estratégico y variado de las actividades y las tecnologías para el aprendizaje.
2. La planificación se centró más en la actividad intelectual del estudiante.
3. Se elevaron los estándares de calidad de uso de la tecnología educativa.

El modelo TPACK tiene en cuenta los siguientes ítems:

- El conocimiento del contenido (Content Knowledge -CK-) es el qué enseñar, los conceptos de la disciplina.
- El conocimiento pedagógico (Pedagogical Knowledge -PK-) se refiere al cómo enseñar.
- El conocimiento tecnológico (Technological Knowledge -TK-) se vincula con los dispositivos y las aplicaciones disponibles para los estudiantes que mejor nos ayudan a viabilizar la propuesta pedagógica.

A continuación, se presenta en la tabla 1 la planificación de la cátedra, teniendo en cuenta los ítems del modelo TPACK.

Tabla 1. Planificación de la cátedra según el modelo TPACK

Conocimiento Curricular	Conocimiento Pedagógico	Conocimiento Tecnológico
CONTENIDOS MÍNIMOS de Diseño de Procesos: El problema de diseño. Distintas subclases de problemas. Grados de libertad. Relaciones de vínculo. Diseño óptimo. Extremo de funciones y funcionales. Diseño con incertidumbre en variables.	Clases Magistrales.	Videos subidos a carpeta de Google Drive.
	Debates.	Clases sincrónicas mediante Zoom o clases presenciales. Uso de herramientas como Zoom, Power point, Muro de Padlet y/o Mentiment.
	Instrucción directa de Trabajos prácticos.	Clases sincrónicas mediante Zoom o clases presenciales.
	Puesta en común de ejercicios prácticos y trabajos colaborativos.	Muro de Padlet, WIKIS, Documentos (ó Docs) de Google.
	Cuestionarios.	Plataforma MOODLE ó Formulario de Google
	Exposiciones de Trabajo Integrador.	Clases sincrónicas mediante Zoom o pueden ser clases presenciales. Se utilizarán las herramientas del Muro Padlet y/o Mentimenter para evaluar a los pares.
	Presentación de trabajos para exponer.	Gennially, Canva ó Power point para armar infografía y/o presentaciones.
	Presentación de trabajos prácticos.	Programas como: Word, Excel, Visio, Lingo, Gams, Mathcad, Paint, etc.

En relación a las evaluaciones de proceso de aprendizaje que realiza la cátedra, el aula virtual de la plataforma Moodle permitió visualizar los procesos de trabajo y producción de los estudiantes: mediante la entrega de trabajos prácticos, participación de wikis, desarrollo de lecciones y cuestionarios, finalmente el desarrollo de un trabajo integrador donde se evaluó la integración de saberes de los contenidos de la materia de Diseño de Procesos tomando una posición crítica, respetuosa y fundamentada a través de una presentación oral y virtual y la presentación de un informe escrito. Para alcanzar esta integración se realizaron las siguientes actividades como mediación pedagógica: estudios de casos, aprendizaje basado en el diseño (ABD), discusiones grupales sobre la temática, trabajo colaborativo, exposición oral y virtual y presentación de informe escrito.

Dichas evaluaciones parciales se llevaron a cabo mediante cuestionarios sincrónicos con un banco de preguntas en la plataforma Moodle generados por la catedra (de respuestas de tipo: ensayo o largas, cortas, opción múltiple, verdadero-falso, emparejamiento, de arrastre de marcadores, imágenes, sobre textos, etc.), con tiempo definido. Se le informa al estudiante el día y la fecha de cada parcial, el link del aula virtual y las diferentes pautas necesarias para que ellos rindan el examen. También se recalcó que en caso de detectarse la duplicación o copia de alguna respuesta, o no se reconozca la autoría correspondiente, éste parcial será invalidado y, por lo tanto, no tendrá valor alguno para efectos de la calificación de la cátedra.

De haber algún problema con la conectividad y/o acceso a la plataforma el estudiante debe

comunicárselo directamente al docente responsable, en el horario correspondiente.

Las recuperaciones de los parciales podrán ser instancias orales (como exposición, discusiones, presentaciones, defensas, etc.) a través de una videoconferencia, como instancias escritas a través de cuestionarios sincrónicos.

Finalmente, para aquellos estudiantes, que hayan estado inscriptos y en condiciones de cursar la materia y, que por alguna razón hayan abandonado la materia por problemas de conectividad y/o atención a algún familiar por causa de la pandemia COVID 19, se le ofrecerá un recursado en el siguiente cuatrimestre, semejante al realizado en esta modalidad o de acuerdo al requerimiento del estudiante en particular.

3. PROPUESTA DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE

La asignatura Diseño de Procesos aporta al perfil de egreso del Ingeniero Químico en la generación del mejor diseño de proceso que involucre fenómenos de transferencia y/o transformación, con la finalidad de realizar un producto determinado, con un fin útil económico, tendiente a mejorar la calidad de vida del hombre y cuidado el ambiente.

Para ello se proponen diversas alternativas y se aplican las diferentes técnicas para lograr el mejor diseño, con el sentido del óptimo como, por ejemplo: el de menor costo total de inversión, el de menor uso de energía, el de menor eliminación de efluentes o el de menor contenido de contaminación.

En dicha asignatura se evalúan los siguientes saberes:

- El saber conocer se evalúan mediante: cuestionarios, parciales y trabajo integrador.

- El saber hacer es evaluado en las clases prácticas, en la presentación de los prácticos e informes.

- El saber ser es evaluado en asistencia a clases, en la responsabilidad de las entregas de informes, en el comportamiento en clases y en exposiciones. También se evalúa la participación en los equipos de trabajo y el grado de responsabilidad y participación que cada uno asume.

La propuesta de enseñanza en entornos combinados: presencial y virtual, es el Trabajo Integrador de la materia Diseño de Proceso. El Trabajo Integrador consiste en un trabajo final grupal, que sirve para integrar los conocimientos adquiridos durante el cuatrimestre. Se propone la realización del diseño de un proceso industrial químico, esta actividad finaliza con la presentación oral ante sus compañeros. Si bien todos los grupos tienen asignados diferentes temas (procesos alimenticios, petroquímicos, minerales, etc.), resulta muy enriquecedor el espacio generado para escuchar aportes, sugerencias e inquietudes de sus pares. Se evalúa la presentación durante la exposición mediante una reunión zoom, el desenvolvimiento individual y grupal, el informe escrito final. El informe final se entrega una copia digital la que se sube al aula virtual de la catedra mediante la plataforma moodle, ambos de forma grupal. Esta actividad también permite evaluar el saber ser y el saber hacer, ya que enriquece la competencia de trabajo colaborativo y grupal, el desenvolvimiento durante la presentación del trabajo, la expresión oral, el cumplimiento de entrega de trabajo, el cumplimiento del tiempo de exposición, además de reflexionar sobre las responsabilidades sociales y éticas del ejercicio profesional.

En la tabla 2 se presentan los Resultados de Aprendizajes (RA) de esta actividad y los correspondientes Criterios de Evaluación (CE).

Esta actividad se basa en el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) o "*Problem Based Learning* (PBL)". Es una estrategia de aprendizaje orientada a generar conocimientos mediante el trabajo colaborativo en torno a un problema expresado en un escenario que se analiza, discute y donde se generan una o varias soluciones.

La construcción del conocimiento con PBL consta de tres etapas:

Etapa I

Lectura y análisis del proceso industrial químico: es importante leer y analizar con detalle el proceso antes de continuar.

Clarificación de conceptos: es necesario que todos los conceptos vertidos en el proceso queden claros, para eso hay que discutirlos entre los integrantes del equipo.

Formulación de hipótesis: se realiza una lista de todas aquellas ideas que les vayan surgiendo y que pueden ayudar en el planteamiento y resolución del problema. Estas hipótesis deben ser revisadas más adelante para descartar las que no sean relevantes. Lluvia de ideas: este es el momento para generar ideas sobre las posibles alternativas de solución al problema.

Tabla 2. Resultados de Aprendizajes (RA) y Criterios de Evaluación (CE).

Resultados de Aprendizaje (RA)	Criterios de Evaluación (CE)	Saberes	Tiempo
[Integrar] + [conocimientos] + [para tomar decisiones con criterio ingenieril, a partir de información incompleta o limitada de los procesos químicos] + [reflexionando sobre las responsabilidades sociales y éticas del ejercicio profesional].	**CE1.** Demuestra e integra el conocimiento obtenido durante el cuatrimestre. **CE2.** Estructura y organiza lógicamente la información que presenta. **CE3.** Comunica efectiva durante la presentación oral. **CE4.** Usa medios y recurso de apoyo visual para la presentación **CE5.** Trabaja colaborativamente en la presentación. **CE6.** Maneja el tiempo de la presentación. **CE7.** Organiza el contenido de información en el informe digital	**Saber Conocer:** Integra los conocimientos adquiridos durante el cuatrimestre. **Saber Ser:** Diseña, analiza, toma decisiones con respecto a un proceso químico (procesos alimenticios, petroquímicas, minerales, etc.) en grupo de hasta cuatro integrantes, actividad que finaliza con la presentación oral ante sus compañeros. **Saber Ser:** Ser autónomo, dinámico y organizado con las siguientes capacidades: de análisis y de síntesis, de análisis crítico y de prospectiva al trabajo de equipo. Con respeto, tolerancia y empatía. Capacidad de relación con saberes y habilidades adquiridas en otras asignaturas. Comunicación oral efectiva. Presentación de informes en tiempo y forma.	**Horas de clases sincrónicas mediante zoom o clases presenciales.** 3 clases destinadas a consultas del trabajo integrador (6 horas). **Horas de clases no presenciales o de trabajo asincrónico.** 30 horas para preparación del trabajo final. **Horas de presentación oral mediante clases sincrónicas por zoom o clases presenciales.** Una jornada considerando aproximadamente 45 minutos por grupo de 4 estudiantes.

Etapa II

Definición del problema: la definición del problema es una idea expresada en una o dos oraciones que identifiquen claramente lo que el equipo está tratando de resolver, producir, responder, comprobar o averiguar. Es válido que, durante la investigación, la definición del problema sufra ajustes.

Formulación de objetivos: implica formular los enunciados que expresen las metas a alcanzar y que ayuden a resolver el problema. Éstos deben ser realistas y alcanzables

Obtener información: todos los integrantes del equipo, a partir de los objetivos, hacen un plan de investigación de información. El plan debe incluir preguntas específicas que ayudarán a enfocar claramente la investigación.

Etapa III

Reporte y conclusiones: requiere la preparación de un informe en el cual se plantea la solución al problema y las recomendaciones, todo deberá estar sustentado de manera que se pueda justificar la posición que hayan adoptado.

Cierre de la actividad: implica realizar la auto y coevaluación del trabajo en equipo, para ello se proporcionan rúbricas que apoyan la evaluación del desempeño de todos. Esta actividad de evaluación involucra la reflexión y valoración del trabajo colaborativo, así como la riqueza de la técnica didáctica PBL en el proceso de aprendizaje.

Con respecto a los ROLES a asignar a los docentes y estudiantes en función del contenido desarrollado en la actividad propuesta, se indican los siguiente:

Durante la aplicación del PBL el profesor: Es quien diseña los contenidos del PBL, guía el proceso, retroalimenta, asegura que los alumnos no se pierdan en el camino y evalúa.

Durante la aplicación del PBL el estudiante: es responsable de investigar, organizar e intercambiar la cantidad y calidad de la información necesaria para definir el problema planteado en el escenario y crear soluciones pertinentes. Es quien administra el trabajo

colaborativo, los recursos y el tiempo de todos los integrantes del equipo.

La Rubrica Analítica para el RA se presenta a los estudiantes y se les informa de los niveles obligatorios para cada criterio.

Finalmente, en la tabla 3 se señalan los valores que se asignan para cada indicador, de acuerdo al Puntaje de los Niveles de Dominio y el peso relativo de los Criterios de Evaluación. En la misma puede observarse que el puntaje mínimo para la aprobación es 8.6.

Tabla 3. Valores que se asignan para cada criterio

Criterio	Peso	Principiante 3	Básico 6	Autónomo 8	Avanzado 10
Dominio del Contenido	**0,3**	0,9	1,8	**2,4**	3
Estructura y organiza lógicamente la información que presenta.	**0,15**	0,45	0,9	1,2	**1,5**
Comunicación efectiva durante la presentación oral.	**0,1**	0,3	0,6	**0,8**	1
Medios y recurso de apoyo visual para la presentación	**0,1**	0,3	0,6	**0,8**	1
Trabajo colaborativo en la presentación	**0,15**	0,45	0,9	1,2	**1,5**
Manejo del tiempo de la presentación.	**0,1**	0,3	0,6	**0,8**	1
Organización del informe digital	**0,1**	0,3	0,6	0,8	**1**
Mínimo = 8.6	1				

4. CONCLUSIÓN

Partiendo de una de las respuestas de Mariana Landau (2021) donde se pregunta ¿Cómo hacer de los encuentros sincrónicos un espacio donde los alumnos se sientan motivados y no ser esperados como espacios a los que tiene que asistir obligadamente por el compromiso de cumplir, Landau afirma que: "… la educación debe incomodar, hay algo que debe incomodar para que aparezca la pregunta …? El campo académico no es ir a escuchar (refiriéndose a las clases magistrales) sino es hacer cosas…". Esto lleva a pensar el hecho de que el docente salga de su zona de confort, por ejemplo, la clase magistral, para buscar la atención del estudiante mediante clases tecnológicas. Esto se reafirma también en el proceso de investigación-acción-educativa (IAE), propuesto en Tobón (2005), el cual se define como un proceso continuo que llevan a cabo los docentes y directivos de una institución educativa con el fin de deconstruir y reconstruir el conocimiento pedagógico.

Como lo menciona Hidalgo, F. (2012), ante este escenario de suspensión de la presencialidad necesitamos gestionar la clase y re-aprender a hacerlo en otro ámbito y en poco tiempo. En este sentido es importante remarcar que enseñar en la virtualidad implica mucho más que trabajar con herramientas, plataformas o aplicaciones digitales, requiere un rediseño integral de la propuesta educativa, lo que se podría denominar deconstrucción y reconstrucción. Es necesario contar con una adecuada planificación que contemple: el modo y el tiempo en el que se va a realizar el proceso; los materiales o recursos a utilizar; los criterios y estrategias de evaluación: las acciones de retroalimentación y los canales de comunicación que reemplacen el vínculo cara a cara. En este sentido, se recomienda lo siguiente: dosificar las actividades; proponer actividades que pongan en marcha estrategias cognitivas progresivamente más complejas; explicitar los propósitos que se persiguen;

no centrar todas las actividades exclusivamente en los textos propios de la asignatura (Libedinsky, 2012); brindar retroalimentación de las actividades.

Si se piensa en el ensamble como una propuesta de reconstruir la enseñanza, en un escenario de alternancia, se puede combinar lo que sucede en la virtualidad con lo que puede pasar en forma gradual en la presencialidad.

Por último, y de acuerdo a lo que plantea Maggio (2012) la enseñanza poderosa se piensa en tiempo presente y "se piensa" quiere significar se crea, se inventa, se concibe, se formula, se diseña…. La potencia de la enseñanza aparece cuando ayuda a reconstruir lo conocido, lo pensado, lo aprendido previamente; cuando interpela el sentido común y el mal sentido en el acercamiento a la sabiduría.

¡Sigamos aprendiendo mediante la deconstrucción y reconstrucción pedagógica!

5. REFERENCIAS

Harris, J. & Hofer, M. *Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) in Action: A Descriptive Study of Secondary Teachers' Curriculum-based, Technology-Related Instructional Planning*. Journal of Research on Technology in Education 43(3):211-229 DOI: 10.1080/15391523.2011.10782570. 2011.

Hidalgo, María Fernanda. *Clase 2: "Estrategias de enseñanza y de aprendizaje mediadas por tecnologías". PARTE 2. Ciclo de Formación de Postgrado I "La enseñanza en entornos combinados: presencial y virtual. Distintas estrategias para promover aprendizajes en la universidad"*. Secretaría Académica. Coordinación de Posgrado y Asuntos Académicos. Universidad Nacional de Salta. 2021.

Hofer y Harris, J. *Developing TPACK with Learning Activity Types.* Disponible en: https://activitytypes.wm.edu/HoferHarris-DevelopingTPACKWithLearningActivityTypes.pdf (s/d).

Instituto Tecnológico de Monterrey *Aprendizaje Basado en Problemas (ABP)* http://www.tecvirtual.tec.mx/cursos/recursos/tecnicas/abp.htm (s/d)

Kowalski Víctor Andrés, Morano Daniel Elso, Erck Isolda Mercedes, Enríquez Héctor Darío, Arlettaz Marys Margarita. *Serie Materiales de Apoyo Programa de Formación Docente para orientar su práctica hacia la Formación por Competencias. Módulo 4. Primer Documento. Buscando Cartas de Navegación y Capitanes.* Noviembre de 2018.

Landau, Mariana. *Panel de cierre del curso de posgrado: Enseñar y Aprender en Linea* (https://www.youtube.com/watch?v=ikqttGQSbmE) 2021.

Libedinsky, M. *Diseño de actividades de aprendizaje para aulas virtuales.* En H. Nieto y De Majo, O. (comp.). Educación a distancia y tecnologías: lecturas desde América Latina (pp.103-119). Buenos Aires, Argentina: Universidad del Salvador. 2012.

Maggio, M. *Enriquecer la enseñanza. Los ambientes con alta disposición tecnológica como oportunidad.* Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina: Paidós. Cap. 2 Enseñanza poderosa. Recuperado de: https://iesmc-tuc.infd.edu.ar/sitio/wp-content/uploads/2020/05/Maggio_Enriquecer_la_ensenanza._Cap._2-pdf.pdf 2012

Salas-Rueda, Ricardo Adán. *Uso del modelo TPACK como herramienta de innovación para el proceso de enseñanza-aprendizaje en matemáticas*. Perspectiva Educacional, 57(2), 3-26. https://dx.doi.org/10.4151/07189729-vol.57-iss.2-art.689 2018.

Tobon, Sergio. *Formación Basado en Competencias. Pensamiento complejo, diseño curricular y didáctica*. (2° ed.) Ecoe Ediciones. Bogota. (pp 110 -112). 2005.

Tobón Tobón, S. *Formación integral y competencias: pensamiento complejo, currículo, didáctica y evaluación*. 4ª ed. Bogotá: Ecoe Ediciones 2013.

Teoría de Grafos y Análisis de Redes Sociales. Caso de estudio

Tarifa, Héctor R.[1]; Medina, José L.[1]; Mérida, Víctor E.[1]; Ferreiro, Juan P.[2] y Pérez Ibarra, C. M.[1]

(1) *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.*
alga.unju@gmail.com

(2) *Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales - Universidad Nacional de Jujuy.*
juanpabloferreiro3aguilones@gmail.com

RESUMEN

Los individuos, colectivos, objetos, organizaciones, entre otros tantos, que conforman redes así como sus relaciones pueden estudiarse a través del Análisis de Redes Sociales (ARS). Esta perspectiva intenta explicar cómo influyen las relaciones y el contexto en el comportamiento de los integrantes de una red. Teniendo presente que se pueden analizar redes en los más diversos campos de estudio (física, ecología, química, neurología, genética, informática, ingeniería, sociología, antropología, educación, etc.), el común denominador de todas estas instancias de análisis es el sustento matemático: la teoría de grafos. Enmarcado en el proyecto D/0170 "Aplicaciones del Análisis de Redes Sociales como herramienta teórico-metodológica para la elaboración de diagnósticos socioeducativos", categoría "A" acreditado y financiado por SeCTER-UNJu, y cumpliendo con la etapa inicial y formativa del equipo de investigación, en este trabajo exploratorio se describen y ejemplifican los conceptos básicos y medidas de la Teoría de Grafos aplicados al ARS tomando referencia un caso de estudio que actualmente está siendo desarrollado por el equipo de investigadores usando las diferentes funciones que brinda Gephi. Esto permitirá la posterior planificación, desarrollo y aplicación de estrategias pedagógicas para el proceso educativo.

ABSTRACT

The individuals, groups, objects, organizations, among many others, that make up networks as well as their relationships can be studied through Social Network Analysis (SNA). This perspective tries to explain how relationships and context influence the behavior of the members of a network. Bearing in mind that networks can be analyzed in the most diverse fields of study (physics, ecology, chemistry, neurology, genetics, computer science, engineering, sociology, anthropology, education, etc.), the common denominator of all these instances of analysis is the mathematical support: graph theory. Framed in the project D/0170 "Applications of the Analysis of Social Networks as a theoretical-methodological tool for the elaboration of socio-educational diagnoses", category "A" accredited and financed by SeCTER-UNJu, and complying with the initial and formative stage of the team of research, in this exploratory work the basic concepts and measurements of Graph Theory applied to ARS are described and exemplified by referring to a case study that is currently being developed by the team of researchers using the different functions provided by Gephi. This will allow the subsequent planning, development and application of pedagogical strategies for the educational process.

Palabras claves: grafos - medidas - ARS – red - relaciones

Keywords: graph – measures - ARS - network - relationships

1. INTRODUCCIÓN

El mundo social es caracterizado muy frecuentemente por los atributos de los individuos, olvidándose de que estos también se caracterizan por las relaciones establecidas entre pares. Es el estudio de estas relaciones lo que distingue al Análisis de Redes Sociales (ARS) de otras disciplinas de las Ciencias Sociales.

Las redes de individuos o grupos de éstos (típicamente humanos, pero también de otras especies sociales), objetos, eventos u organizaciones, pueden ser de amistad, dominio, comunicación, intercambio, entre otras muchísimas más. Las relaciones pueden ser uni o bidireccionales, poseer diferentes niveles de intensidad o participación; son justamente estas diferencias en el contenido y las formas que adquieren que permiten definir el tipo y nivel de análisis a realizar.

Por lo tanto y en primer lugar, las redes se encuentran en los más diversos campos de estudios tales como física, ecología, neurología, genética, informática, ingeniería, sociología, antropología, educación, etc. En segundo lugar, lo que todas estas instancias de análisis de redes tienen en común es que se sustentan en una rama de las matemáticas discretas, llamada teoría de grafos.

Robert A Hanneman (2000) expone tres razones generales para justificar la utilización de técnicas matemáticas en el ARS. En primer lugar, el uso de métodos formales permite representar la descripción de una red de manera concisa y sistemática, asegurando que toda la información necesaria se encuentra representada sistemáticamente y proveyendo las reglas para hacerlo de manera eficiente. Por lo tanto y allí la segunda razón, la adopción de estos métodos permite el uso de sistemas informáticos en el análisis de la información, permitiendo almacenarla y manipularla de manera más eficiente y precisa y con mayor rapidez que si se hiciese manualmente.

La última y más importante razón que expone el autor para usar métodos formales (gráficos, estadísticos y matemáticos) en la representación de redes sociales es que las técnicas de representación y las reglas de las matemáticas en sí mismas sugieren cosas que se podrían haber estado buscando, pero también posibilitan la aparición de preguntas que no hubieran surgido si se hubiese presentado la información en un texto. Es más, usar estos métodos permite observar, describir y hasta medir fenómenos que de otro modo ni siquiera podrían haber sido considerados.

Enmarcado en el proyecto "Aplicaciones del Análisis de Redes Sociales (ARS) como herramienta teórico-metodológica para la elaboración de diagnósticos socioeducativos", y cumpliendo la etapa inicial y formativa del equipo de investigación del proyecto, este trabajo describe y ejemplifica los conceptos básicos y medidas de la Teoría de Grafos aplicados al Análisis de Redes Sociales. Para ello, se describen, relacionan y aplican estos conceptos del ARS a un caso de estudio que actualmente está siendo desarrollado por el equipo de investigadores haciendo uso de las diferentes funciones proporcionadas por Gephi.

El documento del presente trabajo se estructura como se indica a continuación. En el apartado 2 se explican brevemente las razones por las cuales el ARS hace uso de la teoría de grafos. En el apartado 3 se describe el caso de estudio de la red social utilizada para ilustrar los conceptos y medidas desarrollados. En el apartado 4 se definen y ejemplifican conceptos básicos y medidas de la teoría de grafos aplicados al ARS, haciendo la correspondiente interpretación para el caso de estudio. Finalmente, en el apartado 5 se presentan las conclusiones del trabajo.

2. EL ANÁLISIS DE REDES SOCIALES Y LA TEORÍA DE GRAFOS

El Análisis de Redes Sociales (ARS) 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, sean estos individuos, colectivos, países, organizaciones, etc. Así, el ARS se basa en la suposición de que es posible explicar los fenómenos sociales a partir de la identificación de las propiedades de las estructuras relacionales, y por ende, comprender y predecir los resultados de las interacciones, comunicaciones o intercambios entre los miembros de una red.

Santos Félix Requena (1989) trata de definir, desde un punto de vista analítico, el concepto de red social estableciendo que éste está más cerca de la idea de sociograma de Jacob Levy Moreno que de la idea metafórica de Radcliffe Brown (1974) cuando definía a la estructura social como "*la red de las relaciones existentes entre las personas implicadas en una sociedad*". El interés puesto por esta perspectiva radica en describir como individuos o colectivos a los nodos de una red implica que entre ellos los vínculos establecidos cumplen con una serie de propiedades que repercuten sobre los distintos aspectos de las relaciones sociales entre los actores (nodos) que

conforman la red. Tales son la intensidad de la relación, la posición del actor, la accesibilidad de un actor respecto a los demás, etc.

La idea de red, tal y como la utiliza Requena, está tomada en gran parte de la teoría matemática de los grafos. En esta teoría se llama red a una serie de nodos (gráficamente puntos) vinculados por una serie de relaciones que cumplen determinadas propiedades. Es decir, un nodo de la red está vinculado con otro mediante una arista o arco (gráficamente una línea) que presenta la dirección y el sentido del vínculo. Esta relación puede ser simétrica o asimétrica, orientada o no y entre dos nodos puede haber múltiples relaciones representadas por diferentes arcos: estos multígrafos se utilizan cuando dos puntos están relacionados por más de un vínculo de naturaleza diferente. En particular, cuando las relaciones estudiadas son unidireccionales se utilizan grafos dirigidos (dígrafos). La diferencia de un grafo con un dígrafo es que en estos últimos las aristas que vinculan un par de nodos, son dirigidas, es decir tienen origen y destino. Por tanto, es posible utilizar grafos para modelar los componentes de una red social y sus relaciones independientemente del sentido de éstas.

El estudio sistemático de las propiedades de las redes sociales se lleva a cabo mediante la teoría de grafos que permite la representación de los actores y las relaciones que conforman una red. Así, por lo siguiente, esta teoría es una herramienta básica del ARS (Harary, Norman y Cartwright, 1965):

a) Ofrece una terminología y conceptos básicos que permiten etiquetar y denotar muchas propiedades estructurales sociales.

b) Posee operaciones matemáticas e ideas que permiten cuantificar y medir las propiedades estructurales de una red.

c) Proporciona, en base a lo anterior, la capacidad para demostrar teoremas sobre grafos aplicados a representaciones de la red social.

3. CASO DE ESTUDIO

El caso de estudio abordado por el equipo de investigadores está constituido por una red de alumnos pertenecientes a un espacio curricular de primer año de distintas carreras de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Jujuy. Esta asignatura, totalmente dictada en forma virtual en el 2021 debido a la pandemia del COVID, contó tanto con un espacio formal (aula virtual en la plataforma Moodle alojada en el campus virtual de la UNJu) como con espacios informales (grupos de WhatsApp, entre otros) para el desarrollo de las actividades de aprendizaje y la socialización con docentes y entre pares. Al observar ambos espacios fue notoria una participación mucho más activa y espontánea en el entorno informal, lo que motivó a realizar el estudio de las interacciones de un grupo de alumnos en este espacio. De un total de 152 alumnos que se unieron al grupo de WhatsApp 69 realizaron al menos una interacción. La red conformada por estos alumnos, identificados A1, A2, …, A69, es la que se analiza en este trabajo.

Cabe destacar que los participantes sólo interactuaron de forma virtual ya que debido a la situación de pandemia no fue posible realizar ningún tipo de encuentro presencial que les permitiera conocerse personalmente.

Con relación al dictado de la asignatura pueden identificarse tres instancias o momentos diferentes durante el cursado: ejecución de prácticas, evaluaciones online y realización de proyectos. En cada instancia se observaron diferentes niveles de interacción variando no sólo la frecuencia e intensidad sino también el grado de participación exhibido por cada miembro del grupo.

En particular, las prácticas consistieron en la resolución de problemas de aplicación bajo la supervisión del equipo docente (canales formales) y el planteo y discusión de soluciones entre pares (canales informales).

Los datos utilizados en este estudio se recopilaron a partir de las interacciones registradas en el espacio informal (grupo WhatsApp) durante una semana de ejecución de prácticas. La tabulación y formateo de datos se llevó a cabo mediante scripts y Excel, mientras que el procesamiento y análisis se realizó mediante el software Gephi.

4. APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE GRAFOS AL ARS

El ARS utiliza la Teoría de Grafos tanto para describir la red total como para identificar y localizar los actores más destacados a través de sus vínculos. Esto implica conocer algunos conceptos básicos y medidas tales como: densidad, distancia, grado, cercanía e intermediación. Estas cuantificaciones están diseñadas para tener una visión general de la red o bien para resaltar las diferencias entre actores importantes de aquellos que no lo son, permitiendo identificar de esta manera a los individuos más prominentes o influyentes de una red social.

A continuación, se describen escuetamente y

ejemplifican estos conceptos. Hay que considerar que en la red del caso de estudio las relaciones son direccionales debido a la naturaleza de la interacción y plataforma utilizada. A fines del presente artículo un dígrafo, $G_d(N, L)$, se define como los conjuntos no vacíos: $N = \{n_1, n_2, \dots, n_g\}$ (de g nodos) y $L = \{l_1, l_2, \dots, l_p\}$ (de p arcos o también llamadas aristas).

4.1 *Densidad*

La densidad de un grafo dirigido es igual a la proporción de los arcos presentes. Se calcula como el número de arcos presentes, L, dividido por el número posible de arcos. Como un arco es un par ordenado de nodos habrá $g(g-1)$ arcos posibles. Por lo tanto, la densidad se denota y calcula como:

$$\Delta = \frac{L}{g(g-1)} \qquad (1)$$

La densidad de un grafo dirigido oscila desde un mínimo de 0, si no hay arcos presentes, hasta un máximo de 1, si todos los arcos están presentes. Este último caso significa que todas las díadas (conjunto de dos actores) son mutuas.

Borgatti, Everett y Johnson (2013) consideran a la densidad como una medida sencilla para conocer la cohesión entre los actores de la red. Bajo esta perspectiva a mayor densidad de la red, mayor será la cohesión y consecuentemente mayor el número de vínculos entre los actores que la forman.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que en redes grandes la densidad tiene valores comúnmente bajos, pues, en primer lugar, la cantidad de vínculos posibles es proporcional al tamaño de la red; es decir, a mayor número de nodos será mayor el número de vínculos posibles. En segundo lugar, la probabilidad que tiene un individuo de mantener y formar nuevos vínculos es limitada. Esto significa que, el tamaño de la red es un factor fundamental para la estructura de relaciones sociales, ya que los recursos y capacidades que tiene cada actor para formar y mantener vínculos, como ya se indicó, es limitada (Hanneman & Riddle, 2011).

Una forma de interpretar la densidad es como la probabilidad de que exista un vínculo entre cualquier par de nodos elegidos al azar, a pesar de esto, este índice por si solo es difícil de evaluar. Para la red que se estudió, se obtuvo $\Delta = 0{,}363$, pero la cuestión a dilucidar es si este valor es bajo o alto. Esta medida indica que aproximadamente existen un 36% de las relaciones posibles (4692), y teniendo en cuenta que el grupo de alumnos es relativamente pequeño (69) y que es una relación de interacción directa que se lleva a cabo a través de una plataforma de comunicación masiva, se puede afirmar que es una red medianamente densa.

Téngase en cuenta que la densidad no sólo puede calcularse para la red completa, sino también se puede trabajar con esta cuantificación dentro de subgrupos e incluso entre éstos. A modo de ejemplo, si en la red analizada los alumnos se dividen por carreras, es posible calcular y comparar la densidad de cada subgrupo.

Si bien la densidad proporciona un número único que caracteriza un aspecto de toda (o parte) de una red, no dice nada sobre cómo se distribuyen esos vínculos en la red.

Esto hace pensar en la cohesión (o no cohesión) en términos más amplios como el número y tamaño de las componentes de la red o dicho esto en términos matemáticos, los subgrafos del grafo. El más simple de ellos es el tamaño de la componente principal: cuanto mayor es la componente principal (en términos de nodos), mayor es la cohesión global de la red. Esto se ha utilizado para analizar, por ejemplo, las redes de transmisión del VIH (Friedman, 1999) pero obviamente esta medida asume que hay una gran componente, y este no es siempre el caso.

Por tanto, es necesario contar con medidas más sofisticadas que tengan en cuenta las diferentes componentes de una red. Una posibilidad es mirar el número de componentes en el grafo. Si c es el número de componentes y g es el número de nodos en el grafo, se puede hacer la siguiente división:

$$\frac{c-1}{g-1} \qquad (2)$$

Esta medida normalizada, es conocida como: relación de componentes; alcanzando el valor máximo de 1 cuando cada nodo es aislado y un mínimo de 0 cuando solo hay una componente. Es una medida de falta de cohesión, ya que valores más grandes indican menos cohesión. Se puede restar de 1 para medir la cohesión:

$$1 - \frac{c-1}{g-1} \qquad (3)$$

Un enfoque diferente de la cohesión es la robustez. La robustez mide la dificultad de desconectar la red eliminando nodos o aristas. Si es necesario eliminar bastantes nodos o aristas para aumentar el número

de componentes en el grafo, entonces la red es muy robusta y, en este sentido, cohesiva. De manera equivalente, si se debe eliminar muchas aristas o nodos, entonces debe haber muchos caminos completamente independientes entre los nodos, lo que nuevamente sugiere cohesión. Esto remite a los conceptos teóricos de grafos: vértices y aristas de corte y aristas puentes. De hecho, tanto la conectividad de vértice como la conectividad de aristas de un grafo pueden verse como medidas de cohesión. Cuanto mayor sea el valor, más rutas independientes habrá entre todos los pares de nodos y más cohesiva será la red.

4.2 *Distancia*

El camino más corto entre dos nodos se llama geodésica y la distancia entre dos nodos se define como la longitud de una geodésica entre ellos. En resumidas palabras, la distancia entre dos nodos es la longitud del camino más corto entre ellos (Wasserman y Faust, 2013). La excentricidad de un nodo se define como la distancia geodésica mayor entre ese nodo y cualquier otro (Flórez O. y Nuñez G., 2016). La excentricidad puede variar desde un mínimo de 1 (si es adyacente a todos los demás nodos del grafo) hasta un máximo de $(g-1)$. Esto permite definir el diámetro de una red conexa (todos los nodos están conectados directa o indirectamente) como la longitud de la mayor geodésica entre cualquier par de nodos o lo que es lo mismo la mayor excentricidad nodal. El diámetro de la red puede variar desde un mínimo de 1 si su correspondiente grafo es completo hasta un máximo de $(g-1)$ (Wasserman y Faust, 2013).

En grafos dirigidos, los caminos desde un nodo n_i hasta el nodo n_j pueden ser diferentes del camino inverso puesto que se debe considerar el sentido de las aristas. Por lo tanto, las geodésicas desde n_i hasta n_j pueden ser diferentes de las geodésicas inversas. Si no hay camino desde n_i hasta el nodo n_j como puede ser el caso de un grafo débilmente conexo (su grafo no dirigido subyacente es conexo), entonces no hay geodésicas y la distancia entre esos nodos es indefinida o infinita.

Para el caso del diámetro de un grafo dirigido la definición anterior es útil si existe un camino desde cada nodo de la red a cualquier otro, esto significa que el grafo está fuertemente conectado

En la red estudiada la distancia geodésica promedio es pequeña, aproximadamente 1.6, lo que sugiere una red compacta. El cálculo del diámetro – que brinda otra noción del tamaño de la red– arrojó un valor de 3, esto significa que ningún alumno está situado a una distancia mayor a 3 de cualquier otro.

Por último, se podría usar el diámetro como una medida para demarcar el límite superior de las longitudes de los caminos que se pudieren estudiar.

4.3 *Grados nodales de entrada y de salida*

El grado, en general, indica la cantidad de actores que están directamente vinculados o son adyacentes a un determinado actor. Esta medida refiere a la centralidad "local" de un actor en relación a los actores cercanos.

En grafos dirigidos, el grado de entrada de un nodo, $d_I(n_i)$, es el número de nodos que son adyacentes hacia n_i. El grado de entrada de un nodo es igual al número de arcos que tienen la forma $l_k =< n_j, n_i > \ \forall\, l_k \in L, \forall\, n_j \in N$. Por lo tanto, el grado de entrada es el número de arcos que terminan en n_i.

De manera similar, el grado de salida de un nodo, $d_O(n_i)$, es el número de nodos que son adyacentes desde n_i. El grado de salida de un nodo es igual al número de arcos de la forma $l_k =< n_i, n_j > \ \forall\, l_k \in L, \forall\, n_j \in N$. Por lo tanto, el grado de salida es el número de arcos que inician en n_i.

En las aplicaciones de redes sociales estos dos tipos de grados pueden ser muy interesantes. Los grados de salida son medidas de expansividad y los grados de entrada de receptividad o popularidad.

Harary, Norman y Catwright (1965) hicieron una clasificación de los nodos de una red teniendo en cuenta los grados y proporcionaron cuatro tipos de nodos para relaciones direccionales.

Aislado: el nodo no tiene arcos que se originen ni terminen en él.

$$d_I(n_i) = d_O(n_i) = 0$$

Transmisor: el nodo sólo tiene arcos que se originan en él.

$$d_I(n_i) = 0 \ y \ d_O(n_i) > 0$$

Receptor: el nodo sólo tiene arcos que terminan en él.

$$d_I(n_i) > 0 \ y \ d_O(n_i) = 0$$

Portador u Ordinario: el nodo tiene tanto arcos desde como hacia él. La diferencia entre un nodo portador y un nodo ordinario radica en que el portador tiene grado de entrada y salida igual a 1 mientras que el ordinario tiene ambos grados mayores que 1.

$d_I(n_i) \geq 1$ y $d_O(n_i) \geq 1$

En la red que se estudió no se registraron alumnos aislados ya que aun cuando no emitieran mensajes, recibían los generados por los otros miembros. Once alumnos tuvieron una participación prácticamente nula (receptores) ya que salvo un mensaje de presentación al ingresar al grupo no aportaron o discutieron sobre el desarrollo de la actividad propuesta. Tampoco se registraron alumnos que sólo cumplieran la función de transmisor ya que como se indicó la plataforma WhatsApp entrega los mensajes emitidos por cualquiera de los miembros del grupo a todos los restantes. Por último, cabe destacar que 58 alumnos participaron de la actividad del grupo no sólo recibiendo mensajes sino también realizando aportes para la ejecución de la actividad (ordinarios). En general, pero particularizando cada tipo de grado, un alumno con grado de salida alto es aquel que interactúa con muchos otros alumnos mientras que, si este indicador es bajo, significa que el alumno en cuestión tiene poca interacción con sus pares. Un alumno con un grado de entrada alto es aquel con quien muchos otros interactúan y si este índice es bajo significa que el alumno en cuestión es aquel con el que los demás integrantes del grupo interactúan poco.
En la red estudiada, dos alumnos tuvieron los mayores grados de entrada: A4 (58) y A47 (63), mientras que en el extremo opuesto tres alumnos, A9, A39 y A49 tuvieron el valor más bajo (37). Para el caso de los grados de salida, se destacan los siguientes cuatro alumnos: A11 (207), A20 (209), A47 (245) y A15 (475), cabe destacar que A15 cumplió el rol de administrador del grupo lo que puede justificar la gran diferencia que existe entre este alumno y los demás. El valor más bajo del grado de salida (cero) corresponde a los 11 alumnos que en el período analizado no emitieron mensaje alguno.

4.4 *Centralidad*

Los actores prominentes son aquellos que están implicados en muchas relaciones con otros actores, esto hace que sean más distinguibles que los demás. Puede interesar o no que esta prominencia se deba a que el actor posea un alto grado de receptividad (actúa como destinatario) o bien porque es transmisor por excelencia (actúa como emisor), lo que es importante en este enfoque es la implicación. Por lo tanto, un actor es central si está implicado en muchas relaciones.

Las medidas de centralidad permiten comprender la estructura grupal y se pueden calcular tanto para los actores individuales como para grupos de ellos. La interacción entre esta estructura grupal y los roles individuales que los distintos actores desarrollan en ella, permite identificar la configuración dinámica del grupo, sus principales tendencias y, por esta razón, puede ser útil para diseñar intervenciones pedagógicas.

4.4.1 *De cercanía*

Este tipo de centralidad mide cuan cerca está un actor de todos los demás actores de la red. La idea es que un actor es central si tiene la posibilidad de interactuar rápidamente con los demás, es decir, se trata de actores que ocupan localizaciones centrales respecto al grupo y pueden ser muy relevantes a la hora de transmitir información a otros actores. Esta medida refiere a la centralidad "general" de un actor en relación a los restantes.
La cuantificación de este concepto se realiza teniendo en cuenta que los nodos centrales de una red tienen una distancia mínima con los otros nodos. En consecuencia, los caminos que unen los nodos centrales con los otros nodos deben ser tan cortos como sea posible.
Sea la función de distancia, $d(n_i, n_j)$, la longitud de la geodésica que une los actores i y j. La distancia total a la que está i de todos los demás actores es:

$$\sum_{j=1}^{g} d(n_i, n_j) \; \forall \; j \neq i \qquad (4)$$

En consecuencia, el índice de cercanía para un actor puede calcularse como:

$$C_c(n_i) = \left[\sum_{j=1}^{g} d(n_i, n_j)\right]^{-1} \qquad (5)$$

donde C_c significa centralidad de cercanía. Como máximo este índice puede ser $(g-1)^{-1}$ cuando el actor es adyacente a todos los demás actores y puede llegar al valor 0 cuando uno o más actores no son accesible desde el actor en cuestión. Téngase en cuenta que un actor es accesible desde otro si existe un camino que los una, caso contrario no son accesibles el uno del otro, es por esa razón que este índice tiene sentido solo para grafos conexos.
Aquí se debe destacar que la cercanía tiene una relación inversa con la distancia, ya que a medida que un nodo tiene mayor distancia con los otros

su cercanía disminuye puesto que hay una mayor cantidad de caminos más cortos que unen ese nodo con el resto.

Como este índice depende de los valores de *g*, las comparaciones de valores entre redes de distintos tamaños son difíciles, por lo tanto para estandarizar esta medida y que su máximo valor sea 1, simplemente se lo multiplica por $(g-1)$.

$$C'_C(n_i) = \frac{g-1}{\sum_{j=1}^{g} d(n_i n_j)} \quad (6)$$

El índice de cercanía (normalizado) oscila entre 0 y 1. Cuando la cercanía es igual a cero, como ya se dijo, uno o más actores no son accesibles desde el actor en cuestión, mientras que si la cercanía es igual a 1 todos los actores se conectan directamente al actor analizado. Valores intermedios indican que existen caminos más cortos de longitud mayor a 1 que conectan al actor en cuestión con los demás actores.

En la red estudiada 24 alumnos obtuvieron un $C'_C = 1$ lo que significa que interactuaron en forma directa con el resto del grupo, mientras que en el extremo opuesto $C'_C = 0$ fueron 11 alumnos los que no hicieron esta acción. Para esta red 24 alumnos obtuvieron $C'_C \cong 0{,}5$ lo que significaría que cualquier actor de este grupo posee el camino más corto hacia los otros actores de longitud 2, sin embargo hay que tener en cuenta que la red está conformada por 69 alumnos que pertenecen todos a un mismo grupo de WhatsApp, por lo que la comunicación es de manera directa.

4.4.2 *De Intermediación*

La centralidad de intermediación indica si dos actores no adyacentes dependerán obligadamente de un tercer actor para interactuar, específicamente, de aquellos que se encuentran en los caminos más cortos que unen a los dos actores no adyacentes. Así, los actores que se encuentran en los caminos más cortos entre dos actores no adyacentes podrían llegar a ser potencialmente controladores de la relación entre éstos últimos. Es importante recalcar que un actor es central si se encuentra en alguno de los caminos más cortos entre otro par de actores. Por lo tanto, para tener una gran centralidad de intermediación un actor debe estar entre muchos de los otros actores a través de sus caminos más cortos. Freeman (1977) fue uno de los primeros en cuantificar esta idea.

Ahora bien, suponiendo que un mensaje debe viajar desde un actor, j, hacia otro actor, k, por uno de los caminos más cortos entre ellos dos (sin tener en cuenta los actores que se encuentren en la ruta) y sabiendo que existe más de un camino más corto entre j y k, entonces todos ellos tendrán la misma probabilidad de ser elegidos. Freeman estima esta probabilidad de la siguiente manera: si todos los caminos más cortos tienen la misma probabilidad de ser escogidos para transmitir el mensaje y llamando g_{jk} al número de geodésicas que unen a dos actores, j y k, entonces la probabilidad de comunicación utilizando cualquiera de ellos será:

$$\frac{1}{g_{jk}} \quad (7)$$

Teniendo en cuenta la probabilidad de que un actor distinto, i, esté implicado en la ruta entre j y k, existirá un determinado número de caminos más cortos que unen a los dos actores y que además contengan al tercer actor i. Nuevamente, Freeman llama al número de geodésicas que unen dos actores j y k y que contienen al actor i: $g_{jk}(n_i)$ y estima la probabilidad como:

$$\frac{g_{jk}(n_i)}{g_{jk}} \quad (8)$$

y continua con la suposición de que todas las geodésicas son igualmente probable para la elección de este camino.

El índice de intermediación de un actor i es sencillamente la suma de las probabilidades anteriores estimadas para todos los pares de actores, obviamente excluyendo a i:

$$C_B(n_i) = \sum_{j<k} \frac{g_{jk}(n_i)}{g_{jk}} \quad \forall i \neq j, \forall i \neq k \quad (9)$$

Tiene un mínimo de cero que se alcanza cuando n_i no se coloca en ninguna de las geodésicas y un máximo de $\frac{(g-1)(g-2)}{2}$ que es el número de pares de actores excluyendo a n_i.Como depende del número de actores, este índice se estandariza:

$$C'_B(n_i) = \frac{2\sum_{j<k} \frac{g_{jk}(n_i)}{g_{jk}}}{(g-1)(g-2)} \quad \forall i \neq j, \forall i \neq k \quad (10)$$

Los valores estandarizados de intermediación oscilan entre 0 y 1. Si el valor del índice es cero significa que el actor en cuestión no aparece en ninguno de los caminos más cortos que existen entre cualquier par de

otros actores. Mientras que el valor 1 implica que ese actor se encuentra en los caminos más cortos entre cualquier par de actores de la red. Valores mayores a 0 pero menores que 1 indican poca intermediación, es decir, que para que dos actores se comuniquen no es necesario pasar, de manera obligada, por algún intermediario.

Para la red estudiada la mayoría de los alumnos (47) tienen $C'_B = 0$, esto se debe a que la plataforma utilizada (WhatsApp) permite la interacción directa entre los miembros del grupo haciendo innecesarios los intermediarios. Esto también explica que no se presentaron alumnos con $C'_B = 1$. No obstante, los valores intermedios (22 alumnos) corresponden a alumnos que si bien no cumplen estrictamente la función de intermediarios fueron quienes iniciaron los temas de discusión en el grupo y propiciaron la interacción entre los pares.

CONCLUSIONES

En este trabajo inicial, y tomando como referencia un caso de estudio, se llevó a la práctica el Análisis de Redes Sociales aplicando conceptos básicos y medidas de la Teoría de Grafos mediante el uso del software Gephi. Esto permitió:

Calificar a la red, según su densidad (36%), como medianamente densa puesto que se sabía, además, que es una red de pocos nodos (69) y la relación de interacción se daba en forma directa (grupo WhatsApp). Estas últimas características ayudaron a interpretar la red estudiada. Esto hubiese cambiado si, por ejemplo, se analiza una red con más de 10.000 nodos u otro tipo de vínculos establecidos entre sus integrantes, ya que en general los valores de densidad son considerablemente más altos para lazos positivos (amistad, gusto, etc.) que para los lazos negativos (enemistad, rivalidad, etc.).

Conjeturar, a partir de los valores de la distancia promedio ($\cong 1.6$) y el diámetro de la red (3), que esta red es un sistema en el cual la interacción permitirá que la información llegue a cualquier alumno y de manera rápida. Porque, suponiendo que el mensaje siempre sigue el camino más corto, se tiene la seguridad de que el mismo puede viajar desde un alumno hasta cualquier otro por un camino de longitud no mayor a 3.

Calificar a 2 alumnos como *hub*, debido al alto valor de su grado de entrada: A4 (58) y A47 (63). Esto significa que estos alumnos ocupan una posición estratégica que los acerca al resto más que cualquier otro, siendo intermedidadores cuya sustitución desconectaría partes de la red. Es importante esta identificación ya que la característica funcional de estos individuos puede estar asociada a un rol específico dentro del grupo.

Identificar a los alumnos que, si bien no cumplen estrictamente la función de intermediarios, permiten que una idea o concepto circule en un circuito específico. Por ejemplo, un alumno que propone una solución (o un problema) que otros toman de él. En ese caso, no importa que la interacción sea directa sino que el intermediario actúa articulando distintos alumnos y eventualmente grupos de éstos.

Conocer no sólo los individuos prominentes de la red sino también la funciones o roles que éstos cumplen dentro del grupo de alumnos: quienes piden ayuda, quienes la dan y otros que concentran atención o que la dispersan.

Finalmente, determinar mediante la interacción de la estructura grupal y los roles individuales, la configuración dinámica de la red y sus principales tendencias; lo que sería de gran utilidad para el diseño de futuras intervenciones pedagógicas.

REFERENCIAS

Borgatti, S. P., Everett, M. G., & Johnson, J. C., *Analyzing social networks,* SAGE Publications Limited, London, 2013.

Flórez Osorio, Karen Lorena; Nuñez G., Diana S., Teoría de Grafos: Una herramienta gráfica. Editorial Académica Española. 2016

Freeman, L. C. "A set of measures of centrality based on betweeness". Sociometry. 1977

Friedman, S. R., Curtis, R., Neaigus, A., Jose, B., and Des Jarlais, D. C., *Social Networks, Drug Injectors' Lives, and HIV/AIDS*, Springer, New York Springer, 1999.

Hanneman, R. A., & Riddle, M., *Concepts and measures for basic network analysis. In J. Scott & P. J. Carrington (Eds.)*, The SAGE Handbook of Social Network Analysis (pp. 340–369), SAGE Publications Ltd, London, 2011.

Hanneman, R. A., Introducción a los Métodos del ARS. Depto de Sociología de la Universidad de California Riverside. *http://wizard.ucr.edu /~rhannema/networks/text/textindex.html*. 2000

Harary F., Norman R. Z. y Cartwright D., *Structural Models: An introduction to theory of Directed Graphs*. John Wiley and Sons, New York, 1965.

Radcliffe Brown, A. R., *Estructura y función en la sociedad primitiva*. Barcelona, España, 1974.

Requena S. F., *El concepto de red social. REIS*. Revista Española de Investigaciones Sociológicas Núm. 48, 137-152. España, 1989.

Wasserman, S. y Faust, K., *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, 2013.

TECNOLOGÍAS BÁSICAS Y APLICADAS



Aislamiento y evaluación funcional de bacterias lácticas autóctonas de Santiago del Estero

Carol, Juan J.[1,2]; Sesín, Abraham A.[1,2]; Gómez, Jorge N.[1,2]; Iturriaga, Laura B.[1,2]; Ledesma, Ana E.[1,3] y Bustos, Ana Y.[1,2]
1) Centro de Investigación en Biofísica Aplicada y Alimentos (CIBAAL-UNSE-CONICET), RN 9- Km 1125, (4206) Santiago del Estero, Argentina
nicolasgoib@gmail.com ; carolpazjuanjose@gmail.com; abrahamsesin97@gmail.com
(2) Facultad de Agronomía y Agroindustrias (FAyA), Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano Sur 1912, (4200) Santiago del Estero, Argentina. abustos@uspt.edu.ar
(3) Departamento Académico de Química, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano Sur 1912, (4200) Santiago del Estero, Argentina anael@unse.edu.ar

RESUMEN

Las bacterias lácticas (BAL) presentan gran potencial tecnológico, ya que proveen características sensoriales, tecnológicas y texturales distintivas a los productos lácteos, como los quesos. Además, muchas de ellas son consideradas probióticas. El objetivo del presente trabajo fue aislar y caracterizar funcionalmente BAL presentes en quesos de cabra elaborados artesanalmente en la provincia de Santiago del Estero. Un total de 50 cepas fueron aisladas e identificadas como bacilos y cocos Gram positivos. Entre ellas, se seleccionaron 14 cepas para su evaluación tecnológica y funcional. Todas las cepas estudiadas, demostraron capacidad de crecer y acidificar la leche, con producción de ácido láctico. Además, todas las cepas mostraron actividad proteolítica. La concentración de aminoácidos en leche fermentada durante 24 h, se situó en un rango comprendido entre 0,05 y 6,08 mg/mL.
Las cepas sometidas a estrés ácido (pH = 2,5) presentaron porcentajes de sobrevida superiores al 93%. Además, 12 de las 14 cepas exhibieron tasas de supervivencia superiores al 75 % en presencia de ácido taurodeóxicolico. Por el contrario, en presencia de ácido deóxicolico, sólo tres cepas alcanzaron tasas de supervivencia del 70%, mientras que las restantes presentaron valores en un rango de 38 a 67 %. Finalmente, tres cepas fueron capaces de inhibir a la cepa patógena *E. coli*.

Palabras claves: bacterias lácticas- probióticos- cepas autóctonas

ABSTRACT

Lactic acid bacteria (LAB) have great technological potential, as they provide distinctive sensory, technological and textural characteristics to dairy products, such as cheeses. Also, many of them are considered probiotics. The objective of the present work was to isolate and functionally characterize LAB present in artisan-made goat cheeses in the province of Santiago del Estero. Fifty strains were isolated and identified as Gram-positive bacilli and cocci. Among them, 14 strains were selected for their technological and functional evaluation. All the strains studied showed the ability to grow and acidify milk, producing lactic acid. In addition, all strains showed proteolytic activity. The amino acid concentration in 24 h- fermented milk was in a range between 0.05 and 6.08 mg/mL.
The strains subjected to acid stress (pH = 2.5) presented survival percentages higher than 93%. Furthermore, 12 of the 14 strains exhibited survival rates greater than 75% in the presence of taurodeoxycholic acid. In contrast, in the presence of deoxycholic acid, only three strains achieved survival rates of 70%, while the others reached values in a range of 38 to 67%. Finally, three strains were able to inhibit the pathogenic strain *E. coli*.

Keywords: acid lactic bacteria- probiotics- autochthonous strains

INTRODUCCIÓN

Las bacterias lácticas (BAL) comprenden un amplio grupo de microorganismos en forma de cocos y bacilos, Gram-positivos, anaerobios y microaerofílicos, catalasa-negativos, que fermentan los carbohidratos con formación de ácido láctico como principal producto final (Font de Valdez, 2005). Las BAL presentan gran potencial tecnológico, ya que proveen características sensoriales, tecnológicas y texturales distintivas a los productos lácteos, como los quesos. En efecto, durante la fermentación, se producen numerosos metabolitos y subproductos que pueden mejorar las propiedades organolépticas de los alimentos, como así también aumentar significativamente su valor nutricional. Sin embargo, no todas las cepas que constituyen la microbiota presente en un queso son capaces de contribuir con estos atributos (Pavunc, 2012; Speranza, 2015).

En este sentido, la actividad proteolítica es uno de los parámetros enzimáticos esenciales, tanto para el desarrollo y crecimiento de las bacterias, como así también para la elaboración de productos lácteos fermentados, mientras que la actividad acidificante es otra característica esencial de las potenciales cepas a usar como cultivos iniciadores (Torres, 2014; Seddik, 2017).

Por otra parte, además de su potencial tecnológico, ha sido ampliamente demostrado que algunas cepas de BAL, consumidas en cantidades apropiadas pueden ejercer numerosos efectos benéficos en el hospedador, condición conocida como probiótica (FAO/OMS, 2006; Hill, 2014). No obstante, las cepas de BAL probióticas deben sobrevivir el pasaje por el tracto gastrointestinal para ejercer sus beneficios. Allí, la acidez estomacal (Fiocco, 2019) y la presencia ácidos biliares (Bustos, 2018), representan las principales barreras fisiológicas que regulan su ingreso. En efecto, el pH bajo del estómago es el primer obstáculo clave para el establecimiento de las bacterias en el intestino. Además, por su carácter detersivo, los ácidos biliares, principales constituyentes de la bilis, presentan potente actividad antimicrobiana (Bustos, 2018). Teniendo en cuenta que, en Santiago del Estero se encuentra la mayor producción de leche de cabra del país y que la mayor parte se destina a la fabricación de quesos artesanales, la selección de cepas autóctonas con características relevantes permitiría mejorar y optimizar los procesos de fermentación. Además, el empleo de cepas potencialmente probióticas capaces de desarrollar en la matriz láctea, permitiría el diseño de un queso funcional. Por lo expuesto, el presente trabajo tiene por objetivo aislar y caracterizar BAL a partir de quesos regionales elaborados con leche de cabra y evaluar sus propiedades funcionales.

MATERIALES Y MÉTODOS

1 *Aislamiento de cepas, medios de cultivo y condiciones de crecimiento*

Se realizaron aislamientos a partir de quesos de cabra elaborados artesanalmente en la localidad de Los Pocitos del departamento Capital de la Provincia de Santiago del Estero. Se tomaron tres muestras de diferentes quesos de 10 g cada una, y se las disolvieron en 90 mL de solución de cloruro de sodio al 0,8 % (p/v). Luego, se realizaron diluciones decimales hasta 10^{-4} y se realizó la siembra en superficie de las ´dos últimas dos diluciones en placas de agar MRS. Las placas fueron incubadas a 30 °C durante 48 horas en condiciones de microaerofilia. Pasado este tiempo, se realizaron los recuentos correspondientes y se expresaron los resultados como log UFC/mL. Las colonias se recuperaron en 1 mL de caldo MRS para los posteriores análisis de identificación.

2 *Identificación fenotípica*

La identificación macroscópica consistió en observar la forma, el tamaño, la superficie y el color de las colonias.

Luego, las cepas seleccionadas fueron caracterizadas fenotípicamente empleando la prueba de catalasa y coloración de Gram. Las cepas catalasa negativas y Gram positivas fueron clasificadas presuntivamente como BAL y nombradas como CB, acompañado del número de identificación.

A partir de estos aislamientos, se seleccionaron 11 bacilos, teniendo en cuenta el potencial tecnológico y probiótico de los lactobacilos y 3 cepas de cocos.

3 *Evaluación tecnológica de las cepas*

Las cepas aisladas fueron inoculadas al 3% (p/v) en leche descremada estéril reconstituida al 10%, para evaluar su capacidad de crecimiento en leche, capacidad acidificante y acidez titulable.

3.1 *Capacidad de crecimiento en leche*

La capacidad de crecimiento en leche se realizó por recuento en placa. Se tomaron muestras al inicio de la incubación (t_0) y luego de 24 horas (t_{24}) a 37 °C, en condiciones de microaerofilia.

Para ello, se realizaron diluciones decimales en solución de cloruro de sodio al 0,8 % (p/v) que luego se sembraron en profundidad en placas de agar MRS y se incubaron a 30 °C en microaerofilia.

Los recuentos de colonias fueron expresados como logaritmo de UFC/mL.

3.2 *Actividad acidificante y acidez titulable*

Los valores de pH de cada uno de los tubos de leche inoculados con las diferentes cepas se determinaron empleando un pHmetro. Las medidas se realizaron a dos tiempos diferentes: al inicio de la incubación (t_0) y luego de 24 horas de incubación (t_{24}). Previamente, el pHmetro fue calibrado usando soluciones estándar de pH 4,0 y 7,0.

La acidez titulable se realizó siguiendo la técnica especificada en las normas ISO/TS 11869IDF/RM 150 de amplio uso internacional. La acidez titulable se calculó como la cantidad de hidróxido de sodio necesario para titular 100 g de muestra a un pH de 8,30.

Para ello, se tomaron muestras de 5 mL de leche inoculada al inicio y luego de 24 horas de incubación a 37 °C. La titulación se realizó por duplicado empleando una solución titulante de hidróxido de sodio 0,1 N y fenolftaleína al 0,1 % como solución indicadora.

Los resultados obtenidos a través de esta técnica se expresaron en miligramos de aminoácidos libres por mililitro. El cálculo se realizó a partir de la siguiente fórmula:

$$I = \frac{V \times 0{,}9}{m} \qquad (1)$$

Donde *I* son los milimoles de ácido láctico, *V* es el volumen (en mL) de titulante utilizado y *m* es la masa (en g) de referencia para la muestra.

3.4 *Actividad proteolítica*

Se tomaron muestras de 500 µL de los tubos de leche inoculados, al inicio y final de la incubación. A los mismos se les añadió 1000 µL de ácido tricloro acético, para desnaturalizar las proteínas del medio. Seguidamente, las muestras fueron centrifugadas a 2500 × g durante 10 minutos y a 10 °C. Se conservaron los sobrenadantes a -20 °C hasta su análisis. Los aminoácidos libres se cuantificaron empleando el método de OPA (O-phthaldialdehido). Para ello, se tomaron 50 µL de muestra y se les añadió 1000 µL de reactivo de OPA (25 mL de tetraborato de sodio 100 mM, 2,5 mL de duodecil sulfato de sodio al 20 %, 40 mg de OPA en 1 mL de metanol, y 100 µL de β-mercaptoetanol, aforándose a 50 mL con agua destilada). Las soluciones reposaron durante 2 minutos a temperatura ambiente y en ausencia de luz. Por último, se midió la absorbancia de las muestras a 340 nm empleando un espectrofotómetro UV-Visible. El grado de proteólisis se determinó por diferencia frente a un control sin inóculo utilizando una curva de calibración construida con soluciones patrón de glicina (rango de concentración de 0,001 a 0,009 mg/ml).

4 *Resistencia a condiciones del tracto gastrointestinal*

4.1 *Resistencia ácida*

Las cepas se inocularon al 20% p/v en tubos con caldo MRS estéril acidificado hasta pH 2,5 con HCl. Los mismos fueron incubados en estufa a 37 °C. Se midió la absorbancia a 560 nm, a las 0, 1,5 y 3 hs. Los resultados se expresaron como porcentajes de supervivencia comparados con el valor inicial (t_0).

$$\%\,Supervivencia = \frac{DOensayo}{DOcontrol} * 100 \qquad (2)$$

Donde el numerador es la Densidad Óptica (DO) de la suspensión celular al final de la incubación, mientras que el denominador es la DO del tiempo inicial.

4.2 *Resistencia a sales biliares*

Las cepas se inocularon al 3 % p/v en tubos con caldo 5 mM de ácido taurodeoxicólico (ATDC) o ácido deoxicólico (ADC). Los mismos se incubaron en estufa a 37°C durante 24 hs. Finalizado este tiempo, se midió la absorbancia a 560 nm. Los resultados fueron expresados como porcentajes de supervivencia.

5 *Actividad antimicrobiana*

Se evaluó la capacidad de las cepas de inhibir al patógeno *Escherichia coli* (aislado clínico realizado en el laboratorio de la Bioquímica Mariela Romero). Los cultivos o/n de cada cepa se centrifugaron a 6000 rpm durante 6 minutos. Los sobrenadantes se vertieron en pocillos realizados en placas con agar Mueller Hinton, sembradas en césped con la cepa de *E. coli*. Las mismas se incubaron durante 24 hs a 37°C. Al finalizar la incubación, se midieron los diámetros de los halos observados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aislamiento e identificación fenotípica

A partir de las tres muestras de queso procesadas se obtuvieron recuentos de 4,50 log de UFC/mL, 9,20 log UFC/mL y 9,80 log UFC/mL. En las placas de agar MRS, se observaron colonias cuyos tamaños fueron de 1 a 2 mm, de color blanco cremoso, con forma redonda, puntiformes, bordes enteros, y superficie convexa, características compatibles con colonias de BAL. A partir de allí, un total de 50 colonias se recuperaron en caldo MRS y se nombraron como CB (1-50). Con respecto a la morfología microscópica, 36 de ellas se identificaron como cocos mientras que las 18 restantes correspondieron a bacilos de distintos tamaños. En la figura 1 se muestran microfotografías de la tinción de Gram de dos de las cepas aisladas (CB3 y CB16).

Finalmente, 14 colonias completamente puras, se seleccionaron para los ensayos posteriores, de las cuales 11 corresponden a bacilos y tres a cocos.



Figura 1. Tinción de Gram de las cepas CB3 y CB16

Evaluación funcional de las cepas aisladas

En las figuras 2 y 3 se muestran los valores de pH y crecimiento en leche a las 24 h de fermentación, respectivamente, mientras que los datos de acidez titulable se muestran en la tabla 1. En general, se observa que las 14 cepas evaluadas fueron capaces de crecer y acidificar la leche. La cepa CB14 fue la que presentó mayor crecimiento con un valor de 9,09 log UFC/mL, seguidas de CB4, CB13 y CB18. Respecto a la capacidad acidificante, el delta de pH (diferencia entre el pH inicial y final) estuvo en un rango de 0,57 y 1,51 unidades de pH. La cepa CB9 fue la más acidificante, alcanzando un valor de pH de 4,55, a las 24 h de incubación, respecto del valor de 6,5 inicial. Este valor coincide con su mayor capacidad de producción de ácido láctico que alcanzó un valor de 0,40 mg/mL de muestra.

Además, todas las cepas evaluadas mostraron actividad proteolítica luego de 24 h de incubación. La concentración de aminoácidos inicial en las leches fue de 0,02 mg/, mientras que luego de 24 hs de fermentación, se situó en un rango comprendido entre 0,05 y 6,08 mg/mL. La cepa con mayor actividad proteolítica fue CB3. En este sentido, es importante destacar que la habilidad de las BAL para desarrollarse en leche, depende de su sistema proteolítico, que les permite liberar los aminoácidos esenciales para su crecimiento (Seddik, 2017).

Tabla 1. Resultados de los ensayos de acidez titulable y actividad proteolítica

Cepas	Acidez titulable (ácido láctico producido en mg/mL)	Actividad proteolítica (aminoácidos liberados en mg/mL)
CB1	0,18 ± 0,007	3,45 ± 0,39
CB3	0,17 ± 0,007	7,23 ± 0,01
CB4	0,22 ± 0,000	2,74 ± 0,13
CB6	0,29 ± 0,014	1,66 ± 0,06
CB8	0,34 ± 0,021	1,75 ± 0,03
CB9	0,40 ± 0,014	7,01 ± 0,11
CB11	0,28 ± 0,007	5,08 ± 0,13
CB12	0,20 ± 0,007	2,73 ± 0,04
CB13	0,40 ± 0,021	6,08 ± 0,02
CB14	0,26 ± 0,014	1,36 ± 0,22
CB15	0,26 ± 0,021	0,05 ± 0,04
CB16	0,24 ± 0,007	0,48 ± 0,19
CB17	0,24 ± 0,000	5,87 ± 0,07
CB18	0,24 ± 0,007	4,63 ± 0,03

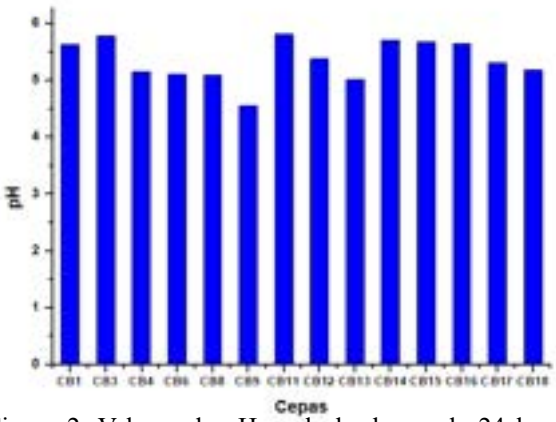


Figura 2. Valores de pH en leche luego de 24 hs de fermentación. El pH inicial de la leche fue de 6,5.

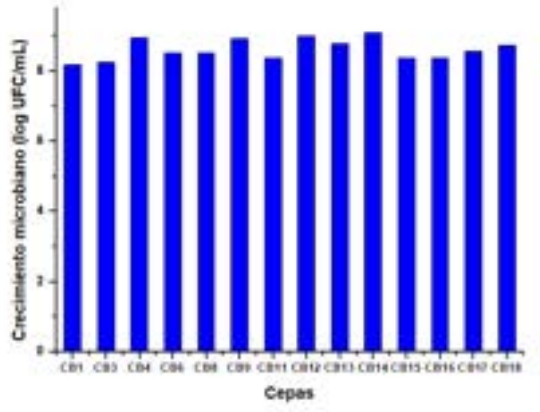


Figura 3. Crecimiento en leche luego de 24 hs de fermentación. El inóculo inicial para todas las cepas fue de 7 log UFC/ml.

Resistencia a las condiciones del tracto gastrointestinal y potencial actividad antimicrobiana

En la figura 4, se muestran los porcentajes de sobrevida al estrés ácido de las cepas lácticas aisladas a 1,5 y 3 h de incubación. Se observa que las 14 cepas mostraron porcentajes de sobrevida superiores al 93 % luego de 3 h de incubación, mientras que las cepas CB11, CB12, CB14 y CB16, no fueron afectadas por el bajo pH. Estos valores indican que las BAL autóctonas pueden sortear adecuadamente una de las principales barreras del tracto gastrointestinal (Fiocco 2019).

La figura 5 muestra los porcentajes de sobrevida de las cepas expuestas a 5 mM ATDC y ADC. De las 14 cepas bajo estudio, 12 mostraron porcentajes de supervivencia superiores al 75% con ATDC. Sólo las cepas CB10 y CB15, alcanzaron valores moderados entre el 50 y 70 % en presencia del ácido biliar conjugado.

El ADC mostró efectos más deletéreos sobre todas las cepas evaluadas. En efecto, sólo las cepas CB1, CB4 y CB12 alcanzaron tasas de supervivencia del 70%, mientras que en las restantes cepas evaluadas se observaron valores en un rango comprendido entre 38 a 67 %. Estos datos, coinciden con reportes de numerosos autores, quienes informan que la resistencia a AB es dependiente de la cepa bajo estudio, así como del ácido biliar empleado, siendo el ADC el compuesto más tóxico (revisados en Bustos, 2018).

En relación a la capacidad antimicrobiana, las cepas CB11, CB12 y CB13 mostraron capacidad de inhibir el crecimiento de *E. coli* observándose el mayor halo de inhibición (1,5 cm) con CB12. Se requieren más estudios para determinar la naturaleza de los metabolitos responsables de la actividad antimicrobiana.

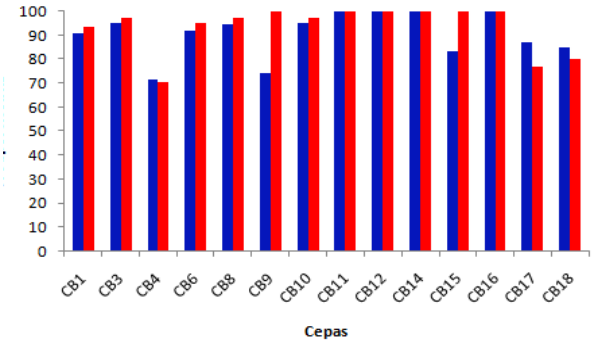


Figura 4. Porcentajes de sobrevida al estrés ácido. Las barras azules representan el tratamiento durante 1,5 hs de incubación y las de color rojo hasta las 3 hs.

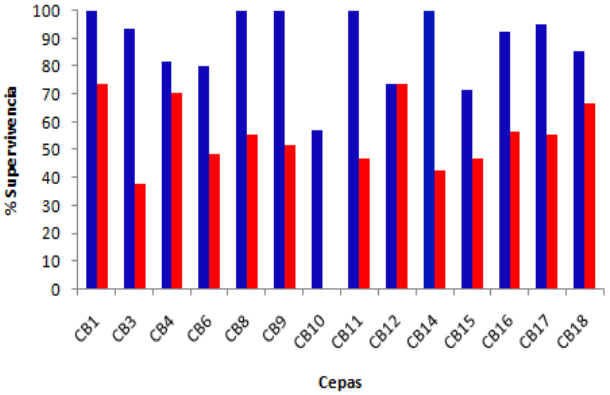


Figura 5. Porcentajes de sobrevida a los ácidos biliares. Las barras azules representan la supervivencia a ATDC, mientras que las rojas a ADC.

CONCLUSIONES

Las 14 cepas aisladas de quesos de leche de cabra regionales presentaron actividad proteolitica, altos porcentajes de supervivencia al estrés ácido y a la presencia de ácidos biliares especialmente a ATDC,

por lo que podrían ser empleadas en el diseño de alimentos fermentados.

REFERENCIAS

Bustos A., Gerez C., Font de Valdez G., Taranto M. *New insights in the bacterial bile resistance mechanisms: the role of bile salt hydrolase and its impact on human health*. Food Research Int 112: 250–262. 2018.

Fiocco D., Longo A., Arena M., Russo P., Spano G., Capozzi V. *How probiotics face food stress: They get by with a Little help*. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 1040-8398. 2019

Font de Valdez G. y Martos, G. I. *Biodiversidad de bacterias lácticas: conservación ex situ de cepas autóctonas argentinas*. *Agrociencia*, (9): 431-434. 2005.

Hill, C., Guarner, F.,Reid, G.,Gibson, G.,Merenstein, D., Pot, B.,Morelli, L.,Berni, R.,Flint, H.,Salminen, S.,Calder, P.,Sanders, M. *The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropiate use of the term probiotic*. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 11, (8): 506-514. 2014.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y la Organización Mundial de la Salud (FAO/OMS). *Consulta de expertos FAO/OMS sobre la Evaluación de las Propiedades Saludables y Nutricionales de los Probióticos en los alimentos, incluida la leche en polvo con bacterias del ácido láctico vivas. Probióticos en los alimentos: propiedades saludables y nutricionales y directrices para la evaluación*, 85: 1-29. 2001.

Pavunc, A., Beganovi J., Kos B., Uroic K., Blazic M. y Suskovic J. *Characterization and application of autochthonous starter cultures for fresh cheese production*. Food Technology and Biotechnolgy, 50 (2), 141– 151. 2012.

Seddik, H., Bendali, F., Gancel, F., Fliss, I., Spano, G., Drider, D. *Lactobacillus plantarum and its probiotic and food potentialities*. Probiotics and Antimicrobial Proteins, 9, 111-122. 2017.

Speranza, B., Bevilacqua, A., Corbo, M., Altieri, C. y Sinigaglia, M. *Selection of autochthonous strains as promising starter cultures for Fior di Latte, a traditional cheese of southern Italy*, Journal of Science and Food Agriculture, 95, 88–97. 2015.

Torres M., Mancheño J., de las Rivas B., Muñoz R. *Production and characterization of a tributyrin esterase from Lactobacillus plantarum suitable for cheese lipolysis*. Journal of Dairy Science, 97, 11, 6737-6744. 2014.

Análisis de la producción de energía fotovoltaica en una escuela de la provincia de Jujuy

Ituarte, Luis E.[1,2]; Tarifa, Enrique E.[1, 3] y Martínez, Sergio L.[1,2]

(1) *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.*
lituarte@ieee.org; eetarifa@fi.unju.edu.ar; smartinez@fi.unju.edu.ar

(2) *Departamento Académico San Salvador, Universidad Católica de Santiago del Estero*
sergioluis.martinez@ucse.edu.ar

(3) *CONICET*

RESUMEN

A pesar de la existencia de numerosos trabajos respecto a la producción de energía con sistemas fotovoltaicos en edificios educativos, existe escasa investigación que se refiera a escuelas del norte argentino. Debido a las condiciones favorables que presenta la provincia de Jujuy para ese tipo de producción de energía, en este trabajo, se analiza la producción de energía anual de la instalación fotovoltaica de una escuela pública de esta provincia. La instalación estudiada posee una potencia instalada de 10 kWp, provista por paneles policristalinos que inyectan corriente a la red pública de distribución eléctrica. En el análisis realizado, se compararon las predicciones provistas por el software de simulación PV*SOL® para el año 2020 con los datos históricos obtenidos en ese año. Los resultados del estudio sugieren que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las dos series de datos comparadas; por lo tanto, el simulador es adecuado para predecir la futura producción de los paneles estudiados. Esta conclusión tiene gran importancia para el diseño de los sistemas de producción de energía fotovoltaica que se instalarán en otras escuelas.

ABSTRACT

Despite the existence of numerous studies regarding the production of energy with photovoltaic systems in educational buildings, there is little research that refers to schools in northern Argentina. Due to the favorable conditions that the province of Jujuy presents for this type of energy production, in this work, the annual energy production of the photovoltaic installation of a public school in this province is analyzed. The studied installation has an installed power of 10 kWp, provided by polycrystalline panels that inject current into the public electricity distribution network. In the analysis carried out, the predictions provided by the PV * SOL® simulation software for the year 2020 were compared with the historical data obtained in that year. The results of the study suggest that there are no statistically significant differences between the two compared series of data; therefore, the simulator is adequate to predict the future production of the studied panels. This conclusion is of great importance for the design of the photovoltaic energy production systems that will be installed in other schools.

Palabras claves: instalación fotovoltaica – validación – escuela – generación distribuida

Keywords: photovoltaic installation – validation – school – distributed generation

1 INTRODUCCIÓN

La preocupante situación ambiental mundial motivó el interés en la utilización de energías renovables. Entre ellas, la energía solar y la eólica son las que mayor importancia tienen en la generación de electricidad en la actualidad. En este marco, en los últimos cuatro años, la provincia de Jujuy ha experimentado un incremento significativo en el número de instalaciones fotovoltaicas no sólo destinadas al mercado eléctrico industrial, sino también al mercado eléctrico de los usuarios residenciales y de edificios públicos. Un ejemplo particular son las escuelas públicas jujeñas en las que se instalaron sistemas de producción de energía fotovoltaica que no sólo abastecen a los establecimientos educativos, sino que también inyectan corriente a la red pública de distribución eléctrica (Gobierno de Jujuy, 2020). Esto es posible gracias a las condiciones favorables que presenta la provincia de Jujuy para este tipo de producción de energía eléctrica. En efecto, la provincia de Jujuy es una de las regiones de mayor irradiación solar de la República Argentina (Laspiur *et al.*, 2013). Por otra parte, cualquier esfuerzo para producir energía eléctrica a través de instalaciones de paneles fotovoltaicos es crucial para el objetivo estratégico argentino de reducción de emisiones de carbono. De hecho, la producción de energía eléctrica fotovoltaica en las escuelas públicas a construirse, es una estrategia sustentable para los planes futuros de infraestructura de un país. Asimismo, los métodos para validar experimentalmente dicha producción de energía fotovoltaica deben ser aprendidos y divulgados en el ámbito de los planificadores de infraestructura de los gobiernos.

La idea de incorporar sistemas fotovoltaicos en la infraestructura de las instituciones educativas fue propuesta inicialmente por Koo *et al.* (2014) y por Park *et al.* (2016) para contribuir al objetivo nacional de reducción de emisiones de carbono 2030 de la República de Corea del Sur. La factibilidad y la evaluación de performance de una instalación fotovoltaica para una institución académica ubicada en Ahmedabad, India, fue investigada por Vasita *et al.* (2017). El cálculo y el diseño de una planta fotovoltaica destinada al edificio de la Universidad Nacional de Rafaela, Santa Fe, Argentina, fue investigado por Berrino *et al.* (2018). Asimismo, el diseño y estudio de performance de la instalación fotovoltaica para el edificio de la Academia de Estudios Superiores de la ciudad de Manipal, India, fue completado por Sharma *et al.* (2018). Adicionalmente, la factibilidad de una instalación fotovoltaica con inyección de corriente de 2 kWp para uso residencial en Bhubaneswar, India, fue analizada por Rout y Kulkarni (2020). También, la factibilidad de una instalación fotovoltaica de 12,4 kWp localizada en la región de Vishakhapatnam, Andhra Pradesh, India, fue investigada por Prasad *et al.* (2020). Finalmente, la comparación de estudios de performance con diferentes herramientas informáticas de una instalación fotovoltaica de 336.96 kWp de la Universidad de Campinas, Brasil, fue realizada por Souza Silva *et al.* (2020).

Si bien el estudio de los sistemas de generación de energía fotovoltaica en establecimientos educativos se realiza en varios países, no es el caso de Argentina en general y de Jujuy en particular. Por otra parte, dado los planes de expansión de este tipo de sistemas que tiene la provincia, es de interés iniciar una serie de estudios que permitan optimizar las futuras instalaciones. Por ello, en este trabajo, se toma como caso de estudio al sistema instalado en una escuela de la provincia de Jujuy. Para ese sistema, se comparan, usando herramientas estadísticas, las predicciones generadas por el simulador PV*SOL® (PV*SOL®, 2020) para el año 2020 con los datos históricos registrados en el mismo periodo. La importancia de este estudio radica en la necesidad de validar el simulador empleado, ya que, si éste supera la evaluación, podrá ser utilizado con cierto grado de confianza para el diseño de los sistemas de generación de energía fotovoltaica a instalar en otras escuelas.

2 CASO DE ESTUDIO

Como se adelantó, el caso de estudio corresponde a un sistema de generación de energía fotovoltaica instalado en una escuela de la provincia de Jujuy. La Fig. 1 muestra el mapa de líneas de iso-irradiación solar *Tilt* media anual para las provincias de Salta y Jujuy (Laspiur *et al.* 2013). Como puede apreciarse, las condiciones que presenta la provincia de Jujuy son muy favorables para la generación de energía fotovoltaica.

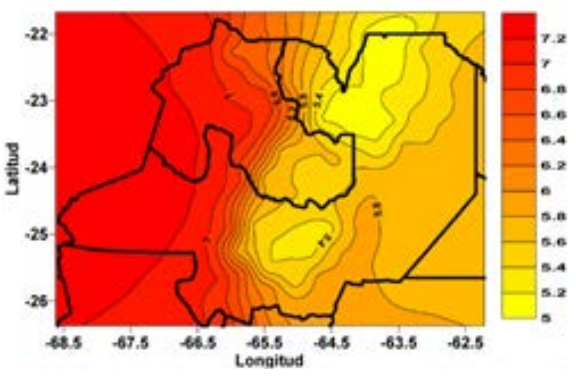


Figura 1. Mapa de líneas de iso-irradiación solar "Tilt" media anual para las provincias de Salta y Jujuy. La escala está en kWh/m^2 (Laspiur *et al.*, 2013).

La Fig. 2 muestra la localización de la escuela elegida para realizar el estudio: Escuela de Educación Técnica N° 1 "Escolástico Zegada". Esta escuela está ubicada

en la ciudad capital, donde se asientan la mayor parte de las escuelas de la provincia. Además, pertenece a una zona que tiene un valor de radiación cercano al promedio de la que recibe la provincia. Por estos motivos, las conclusiones a obtener en este trabajo serán aplicables a la mayoría de los establecimientos de la provincia.

El sistema instalado en la escuela seleccionada consta de 36 paneles fotovoltaicos de marca GCL modelo GCL 330 H, de potencia nominal 330 Wp, de 72 celdas, policristalinos, conectados a un inversor trifásico *grid tie* de marca Schneider® modelo Conext CL, con potencia nominal de salida de 20 kW (Schneider Electric, 2021). La Fig. 3 es una vista aérea de la escuela (polígono verde), donde pueden distinguirse los paneles fotovoltaicos instalados en el techo del edificio (polígono rojo). La Fig. 4 muestra los paneles que componen el sistema de generación instalado en la escuela.



Figura 2. Geolocalización de la E.E.T. N° 1 "Escolástico Zegada", provincia de Jujuy.



Figura 3. Imagen aérea de la instalación fotovoltaica en la E.E.T. N° 1 "Escolástico Zegada", provincia de Jujuy (Google Earth®, CNES, Airbus Maxar Technologies).



Figura 4. Instalación fotovoltaica sobre la E.E.T. N° 1 "Escolástico Zegada", provincia de Jujuy.

3 MÉTODO

En primer lugar, se procedió a la carga de los parámetros requeridos por el simulador PV*SOL® (PV*SOL®, 2020) para modelar el caso de estudio. Este simulador fue provisto por la empresa Valentín Software GmbH, y cuenta con mapas de geolocalización de OpensStreetMap® (OSMF, 2021), CC BY-SA y Mapbox. Entre los parámetros cargados están la localización geográfica de la escuela y los datos técnicos de los paneles fotovoltaicos. Una vez completada la carga de datos, se realizó una simulación para predecir la generación de energía fotovoltaica, variable *s* en la Fig. 5, para los doce meses del año 2020.

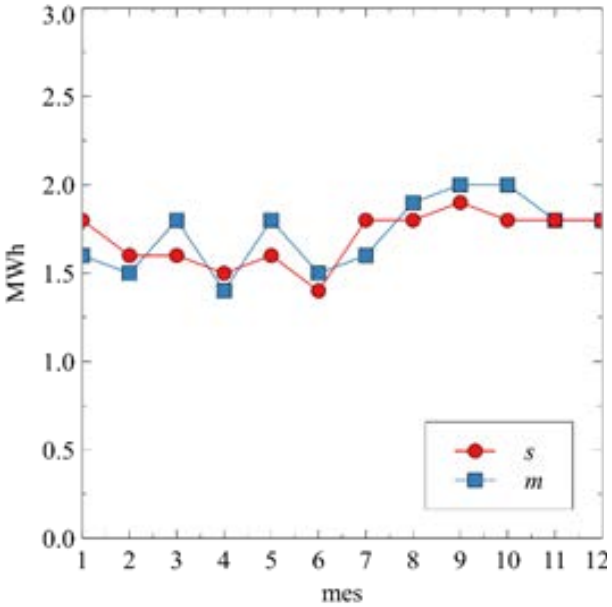


Figura 5. Generación de energía fotovoltaica simulada (variable *s*) y medida (variable *m*) en el caso de estudio para el año 2020.

Con el fin de validar los resultados de la simulación, finalizado el año 2020, se recolectaron los datos de energía fotovoltaica medidos durante el periodo simulado, variable *m* en Fig. 5. Las mediciones fueron realizadas por un inversor trifásico Schneider® Conext CL del tipo *grid tie* (Schneider Electric, 2021) incorporado en la instalación del caso de estudio.

Los datos de producción de energía fotovoltaica a comparar corresponden a series temporales, por lo que se debería emplear alguna técnica específica de ese campo para llevar a cabo el estudio. Sin embargo, dado que sólo se disponen de valores promedios mensuales en un año, el tamaño de la muestra no es lo suficientemente grande como para utilizar un modelo de serie temporal con cierto nivel de confianza. Dado el tiempo que involucra aumentar el tamaño de la muestra y dada la necesidad de validar el simulador antes de proceder con el diseño de sistemas para otras escuelas, se trabajó con los datos disponibles hasta el momento.

Como el objetivo es validar el simulador, se debe determinar si las predicciones simuladas *s* concuerdan con las respectivas mediciones *m*. Para ello, primero se calcularon las diferencias d_i para cada mes *i*:

$$d_i = m_i - s_i \qquad (1)$$

Considerando que el tamaño de la muestra, $n = 12$, es menor de treinta, se aplicó la prueba *t* de muestras pareadas. Esta prueba es un procedimiento estadístico que se utiliza para determinar si la diferencia media $\bar{d}$ entre dos conjuntos de *n* observaciones relacionadas es cero (Statistics Solutions, 2021):

$$\bar{d} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} d_i \qquad (2)$$

En el caso de estudio, se aplicó esta prueba para determinar si el promedio mensual de generación de energía fotovoltaica predicha por la simulación concuerda con el promedio de las mediciones realizadas.

La prueba *t* de muestras pareadas tiene dos hipótesis en competencia: la hipótesis nula y la hipótesis alternativa. La hipótesis nula H_0 supone que la verdadera diferencia media (la media poblacional) es cero, H_0: $\mu_D = 0$. En ese caso, las diferencias observadas se atribuyen al azar. Por el contrario, la hipótesis alternativa H_1 supone que la verdadera diferencia media no es igual a cero.

La hipótesis alternativa puede adoptar varias formas dependiendo del resultado esperado. Si la dirección de la diferencia no interesa, se utiliza una hipótesis de dos colas, H_1: $\mu_D \neq 0$. De lo contrario, se puede utilizar una hipótesis de cola superior, H_1: $\mu_D > 0$, o de cola inferior, H_1: $\mu_D < 0$, para aumentar la potencia de la prueba. La hipótesis nula permanece igual. Para el caso de estudio, no interesa la dirección de la diferencia; por lo tanto, se seleccionó la hipótesis de dos colas.

Para poder aplicar la prueba *t* de muestras pareadas, se deben cumplir algunas condiciones. En una prueba *t* de muestras pareadas, las observaciones se definen como las diferencias *d* entre dos conjuntos de valores, y cada suposición se refiere a estas diferencias, no a los valores de los datos originales. La prueba *t* de muestras pareadas tiene cuatro supuestos principales:

1. La diferencia debe ser continua.
2. Las observaciones son independientes.
3. La diferencia debe tener una distribución aproximadamente normal.
4. La diferencia no debe contener valores atípicos.

Estos supuestos se cumplen para el caso de estudio, salvo el supuesto 3: aunque se puede verificar si la variable tiene media nula, no se cuenta con datos suficientes para verificar si obedece a una distribución normal. Sin embargo, no es crítico realizar esa verificación debido a que la prueba *t*, en la práctica, demostró ser bastante robusta y poco sensible al cumplimiento de los citados supuestos (Bland, 2000).

Los pasos seguidos para realizar la prueba *t* fueron los siguientes:

1- Calcular d_i para todo *i*, ec. (1).

2- Calcular $\bar{d}$, ec. (2).

3- Calcular la desviación estándar de la muestra:

$$S_D = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}\left(d_i - \bar{d}\right)^2} \qquad (3)$$

4- Calcular el valor t:

$$t = \frac{\bar{d} - \mu_D}{\frac{S_D}{\sqrt{n}}} \quad (4)$$

5- Calcular el valor crítico t_c o el valor p usando la distribución de Student con grado de libertad $= n$-1 y nivel de significancia $\alpha = 0.05$.
6- Rechazar la hipótesis nula si $t > t_c$ o $p < \alpha$.
Una vez analizada la concordancia del promedio mensual predicho por simulación con el correspondiente a las mediciones, se procedió a analizar la dependencia lineal de m con respecto a s. Para ello, en primer lugar, se graficó la nube de puntos y se calculó el coeficiente de correlación de Pearson. Luego, se realizó la regresión lineal (Reliawiki, 2021):

$$m(s) = a\,s + b \quad (5)$$

donde los coeficientes a y b se estiman como:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i\, s_i - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} m_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} s_i\right)}{n}}{\sum_{i=1}^{n}\left(s_i - \bar{s}\right)^2} \quad (6)$$

$$b = \bar{m} - a\,\bar{s} \quad (7)$$

$$\bar{m} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} m_i \quad (8)$$

$$\bar{s} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} s_i \quad (9)$$

Para verificar el grado de concordancia entre las predicciones mensuales s realizadas por la simulación con las correspondientes mediciones m, se aplicó la prueba t a la pendiente a y a la distancia al origen b. Para una concordancia perfecta, a debería ser igual a la unidad y b debería ser nulo.
Para la prueba de a, se adoptaron las siguientes hipótesis: H_0: $\mu_A = 1$, H_1: $\mu_A \neq 1$, y el valor t se calculó como:

$$t = \frac{a - \mu_A}{S_A} \quad (10)$$

$$S_A^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(m_i - m(s_i)\right)^2}{n-2}\,\frac{1}{\sum_{i=1}^{n}\left(s_i - \bar{s}\right)^2} \quad (11)$$

donde S_A es la desviación estándar muestral de A y $\bar{s}$ es el promedio muestral de S.

En cambio, para la prueba de b, se adoptaron las siguientes hipótesis: H_0: $\mu_B = 0$, H_1: $\mu_B \neq 0$, y el valor t se calculó como:

$$t = \frac{b - \mu_B}{S_B} \quad (12)$$

$$S_B^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(m_i - m(s_i)\right)^2}{n-2}\left(\frac{1}{n} + \frac{\bar{s}^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(s_i - \bar{s}\right)^2}\right) \quad (13)$$

donde S_B es la desviación estándar muestral de B.

4 RESULTADOS

La Tabla 1 presenta los valores de producción de energía fotovoltaica s predichos por la simulación y los valores reales medidos m para los doce meses i del año 2020. También, se presentan las diferencias calculadas d y la diferencia porcentual $d\%$ (tomando como base a m) entre las dos series de datos. Como se puede observar, la mayor diferencia porcentual es 12.5 %.

Tabla 1. Series de datos y diferencias en MWh correspondientes a los doce meses del año 2020 para el caso de estudio.

i	*s*	*m*	*d*	*d%*
1	1.8	1.6	-0.2	-12.5
2	1.6	1.5	-0.1	-6.7
3	1.6	1.8	0.2	11.1
4	1.5	1.4	-0.1	-7.1
5	1.6	1.8	0.2	11.1
6	1.4	1.5	0.1	6.7
7	1.8	1.6	-0.2	-12.5
8	1.8	1.9	0.1	5.3
9	1.9	2.0	0.1	5.0
10	1.8	2.0	0.2	10.0
11	1.8	1.8	0.0	0.0
12	1.8	1.8	0.0	0.0

En la Fig. 6 se puede apreciar que la diferencia d está uniformemente distribuida con respecto al valor nulo. Esta observación se confirma al calcular el valor promedio $\bar{d} = 0.025$ MWh. La dispersión uniforme de los datos y el valor medio casi nulo sugiere que d puede estar gobernada por una distribución normal; sin embargo, el tamaño de la muestra no es suficiente para realizar una prueba estadística que permita verificar esta hipótesis.

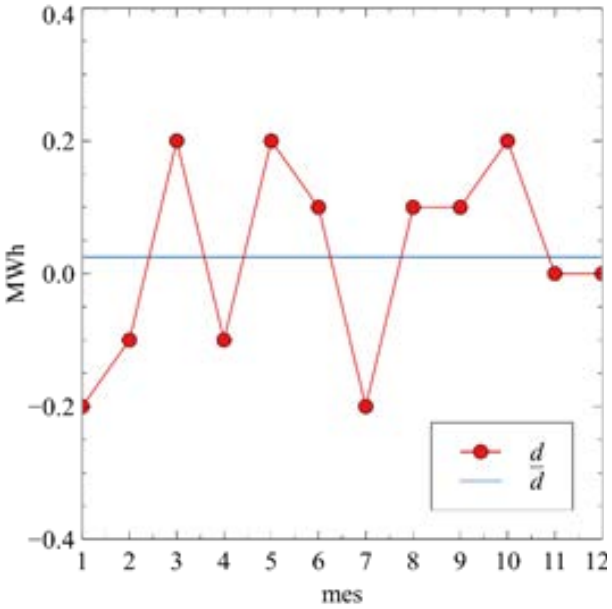


Figura 6. Diferencias *d* mensuales y el valor promedio $\bar{d}$ para el caso de estudio en el año 2020.

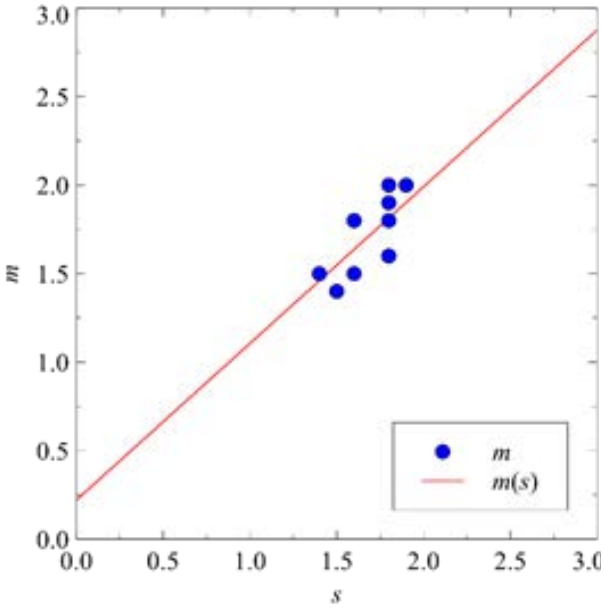


Figura 7. Nube de puntos y regresión lineal de las mediciones *m* en función de las predicciones *s* realizas por simulación para el año 2020.

La aplicación de la prueba *t* a la diferencia promedio $\bar{d}$ —con $n = 12$, $\alpha = 0.05$ y $v = 11$— produjo los siguientes resultados: $t = 0.58$, $t_c = 2.59$ y $p = 0.57$. Estos resultados sostienen la hipótesis nula H_0: $\mu_D = 0$. Por lo tanto, el promedio de producción mensual de energía fotovoltaica predicho por la simulación concuerda con el promedio de las mediciones realizadas con un nivel de confianza del 95 %.

La Fig. 7 presenta la nube de puntos para los valores simulados y medidos. Puede observarse que los puntos se agrupan alrededor de la línea de regresión con coeficientes $a = 0.88$ y $b = 0.22$. El índice de correlación de Pearson es $\rho_{s,m} = 0.68$, cercano a 0.7, donde ya se considera una correlación fuerte. Este índice se toma como un elemento más que indica la correlación entre las variables, pero no como prueba concluyente dado el reducido tamaño de la muestra.

La aplicación de la prueba *t* a la pendiente *a* —con $n = 12$, $\alpha = 0.05$ y $v = 10$— produjo los siguientes resultados: $t = 0.38$, $t_c = 2.63$ y $p = 0.71$. Estos resultados sostienen la hipótesis nula H_0: $\mu_A = 1$. Por otra parte, la aplicación de la prueba *t* a la distancia al origen *b* —con $n = 12$, $\alpha = 0.05$ y $v = 10$— produjo los siguientes resultados: $t = 0.43$, $t_c = 2.63$ y $p = 0.68$. Estos resultados sostienen la hipótesis nula H_0: $\mu_B = 0$. Por lo tanto, la prueba indica que la simulación predice adecuadamente las mediciones mensuales de generación de energía fotovoltaica en el caso de estudio, con un nivel de confianza del 95 %.

5 CONCLUSIONES

En el presente trabajo, se analizó la producción de energía fotovoltaica del sistema instalado en la Escuela de Educación Técnica N° 1 “Escolástico Zegada” de la provincia de Jujuy. En el estudio se compararon las predicciones realizadas por el software de simulación PV*SOL® para los doce meses del año 2020 con las mediciones realizadas por el inversor trifásico Schneider® Conext CL del tipo *grid tie* instalado en la escuela. La importancia de la validación del software de simulación radica en que el simulador será empleado para el diseño de futuras instalaciones a realizarse en otras escuelas de la provincia.

La mayor dificultad que se encontró para realizar el estudio estadístico fue el reducido tamaño de la muestra. Sin embargo, la necesidad de contar con la validación del simulador lo más pronto posible y frente al tiempo considerable que implica ampliar el tamaño de la muestra, en este trabajo, se dejaron de lado las pruebas que requieren un tamaño mayor de muestra, y se recurrió a técnicas que son robustas y pueden ser aplicadas a muestras pequeñas.

Si bien el grado de certeza puede aumentar con la adquisición de nuevos datos, del estudio realizado se puede concluir que el simulador predice en forma satisfactoria la producción promedio mensual y la producción mensual de energía fotovoltaica para el caso de estudio.

6 REFERENCIAS

Berrino, C., L. Silva, A. Bucciarelli, Cálculo y

Diseño de una Planta Fotovoltaica en el Marco del Programa Nacional de Fomento para el Uso de Energías Renovables, *Revista Pymes, Innovación y Desarrollo*, 6 (1), 24-43, 2018.

Bland, M., *An Introduction to Medical Statistics*, Oxford University, 2000.

Gobierno de Jujuy, Energía solar de edificios a la red pública: primeros avances en materia de generación distribuida, *https://prensa.jujuy.gob.ar/2020/11/13/energia-solar-de-edificios-a-la-red-publica-primeros-avances-en-materia-de-generacion-distribuida* (13.11.2020)

Koo, C., H. Kim, T. Hong, Framework for the analysis of the low-carbon scenario 2020 to achieve the national carbon Emissions reduction target: Focused on educational facilities, *Energy Policy*, 73, 356-367, 2014.

Laspiur, R., G. A. Salazar, J. Zerpa, M. Watkins, Trazado de Mapas Medios Anuales de Energía Solar Global, Directa, Difusa y Tilt, usando la base de datos SWERA. Caso de Estudio: Provincias de Salta y Jujuy, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente,* 17, 08.47-08.52, 2013.

OSMF - Fundación OpenStreetMap. OpenStreetMap ®. Cambridge, CB4 0WS. United Kingdom.
https://www.openstreetmap.org/ (10.07.2021).

Park, H., K. Jeong, T. Hong, C. Ban, C. Koo, The optimal photovoltaic system implementation strategy to achieve the national carbon emissions reduction target in 2030: Focused on educational facilities, *Energy and Buildings*, 119, 101-110, 2016.

Prasad, B. K. K., K. P. Reddy, K. Rajesh, P. V. Reddy, Design and Simulation Analysis of 12.4 kWp Grid Connected Photovoltaic system by using PVSYST Software, *International Journal of Recent Technology and Engineering* (IJRTE), 8 (5), 2859-2864, 2020.

PVSOL ®. Stralauer Platz 34, Berlin, Germany. Valentin Software GmbH. 2020.
https://valentin-software.com/ (10.07.2021).

Reliawiki, Simple Linear Regression Analysis, http://reliawiki.org/index.php/Simple_Linear_Regression_Analysis (10.07.2021).

Rout, K. C., P. S. Kulkarni, Design and Performance evaluation of Proposed 2 kW Solar PV Rooftop on Grid System in Odisha using PVsyst, *2020 IEEE International Student's Conference on Electrical, Electronics and Computer Science,* 2020.

Schneider Electric SE. Schneider®. 92500 Rueil Malmaison. France.
https://www.se.com/ (10.07.2021).

Sharma, S., C. P. Kurian, L. S. Paragond, Solar PV System Design Using PVsyst: A Study of an Academic Institute, *2018 IEEE International Conference on Control, Power, Communication and Computing Technologies* (ICCPCCT), 2018.

Souza Silva, J. L., T. Silva Costa, K. Barbosa de Melo, A Comparative Performance of PV Power Simulation Software with an Installed PV Plant. *2020 IEEE International Conference on Industrial Technology* (ICIT), 2020.

Statistics Solutions, Paired Sample T-Test, *https://www.statisticssolutions.com/free-resources/directory-of-statistical-analyses/paired-sample-t-test/* (10.07.2021)

Vasita, J., Q. Shakhiya, J. Modi, Feasibility study and Performance evaluation of a grid-connected Rooftop Solar PV system, *IEEE International Conference on Information, Communication, Instrumentation and Control* (ICICIC-2017). 2017.

Análisis macro/meso estructural de hormigones sometidos a altas temperaturas

Rizo Patrón, Marcia[1]; Lorefice, Ricardo H.[1] y Pérez, Gustavo A.[2]

(1) Instituto de Materiales, Estructuras y Construcciones, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero.
rizopatron@gmail.com; rlorefice@gmail.com
(2) Instituto de Estructuras, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán.
gperez@herrrera.unt.edu.ar

RESUMEN

En este trabajo se presenta el análisis de probetas de hormigón simple en configuraciones macro/meso mecánicas con el fin de estudiar la distribución de temperaturas y de tensiones originadas durante el proceso termo mecánico en el cual intervienen altas temperaturas. El estudio se basa en la aplicación de un modelo constitutivo termo-elasto-visco plástico desarrollado al efecto mediante el cual es factible indagar sobre el comportamiento de sólidos y estructuras sometidas a altas temperaturas, con el objeto de predecir su respuesta mecánica una vez producida la degradación de los parámetros que definen el material. Este criterio permite el análisis de problemas acoplados termo mecánicos con una metodología alternativa a las complejas técnicas basadas en la mecánica de fluidos computacional.

ABSTRACT

In this paper we present a two-level analysis of plain concrete samples (macro and meso level of observation) to study temperature and stress distribution inside concrete mass during the thermo-mechanic process involving high temperatures. The analysis is based on the development of a thermo-elasto-viscoplastic constitutive model which allows to predict the mechanical behavior of solids and structures under high temperatures taking into account the material degradation at constitutive level. This is a suitable approach in order to analyze coupled thermo-mechanical problems without need of very complex techniques such as those based on the computational fluid dynamics.

Palabras claves: hormigón - modelación constitutiva - acoplamiento termo-mecánico

Keywords: concrete - constitutive modeling - coupled thermo-mechanic

1. INTRODUCCIÓN

El interés en el comportamiento del hormigón a altas temperaturas obedece principalmente al efecto catastrófico que algunos casos de incendios han producido en estructuras de edificios, túneles y plataformas de perforación. Durante un incendio la temperatura puede alcanzar hasta los 1100°C en edificios y hasta los 1300°C en túneles, pudiendo producir severos daños en la estructura de hormigón armado. En algunos casos, incluso temperaturas más bajas pueden causar una destrucción explosiva de un elemento estructural de hormigón disminuyendo su capacidad resistente. Sin embargo el hormigón está considerado como un material de construcción que preserva satisfactoriamente sus propiedades cuando es expuesto a temperaturas elevadas. En efecto, esto es debido a que su coeficiente de conductividad térmica es sensiblemente bajo, lo cual produce que la transmisión del calor a través del hormigón sea muy lenta y que, por ende, las barras de acero de refuerzo que son muy sensibles a la degradación térmica queden protegidas al estar ubicadas en el seno del material, permitiendo que la estructura permanezca en pie un tiempo relativamente largo. Cuando el hormigón es sometido a condiciones de incendio, el aumento de temperatura en las capas más internas del material es progresivo, pero como este proceso es lento se producen importantes gradientes de temperatura entre la capa superficial más externa y las interiores, lo cual induce daños adicionales a la estructura interna del material. En consecuencia resulta de gran importancia identificar los complejos cambios que ocurren en el hormigón durante este proceso de incremento de temperaturas. Este proceso de degradación implica tanto cambios químicos como físicos que se producen en la matriz cementicia, principalmente fenómenos que involucran el transporte de gases y líquidos en la masa del material. El análisis es de alta complejidad, debido al hecho de que el hormigón es un material compuesto principalmente de dos constituyentes sustancialmente diferentes: pasta de cemento y agregados. Las consecuencias de los distintos cambios que ocurren en el hormigón mientras se calienta son las alteraciones de sus propiedades físicas, mecánicas y térmicas. Las investigaciones realizadas han demostrado que los cambios en la resistencia del hormigón en función de la temperatura están relacionados, entre otros factores a: la composición del hormigón, el tipo de agregados, la relación agua/cemento, la presencia de aditivos puzzolánicos, etc. Otros factores importantes son la tasa de aumento de temperaturas (gradiente térmico) y el tiempo total de exposición a las mismas.

Por lo expuesto, es claro que la predicción de falla de este tipo de materiales involucra una serie de análisis de complejidad extrema, por lo que debe recurrirse en general a métodos numéricos avanzados que permitan resolver problemas acoplados de múltiples variables, con condiciones de borde dinámicas y múltiples fases interactuando simultáneamente. Esta complejidad es la que impide en general que estos procedimientos se apliquen a problemas reales en los cuales se pretenda determinar la capacidad soporte de estructuras comunes en el ámbito de la ingeniería civil, por lo que es necesario contar con procedimientos alternativos que permitan analizar este tipo de problemas de manera lo suficientemente realista. En particular, el criterio que se presenta en este trabajo apunta a generar un modelo constitutivo termo-mecánico acoplado que permita determinar con razonable grado de precisión a los fines prácticos la respuesta estructural de un material complejo como el hormigón en el marco de escenarios de incendio, abordando la resolución no lineal del problema de valores de borde en el marco del Método de los Elementos Finitos (MEF). Se considera que gran parte de la complejidad de los modelos acoplados pueden simplificarse asumiendo la validez de la mecánica de medios continuos no lineal mediante la inclusión de variables de estado propias del modelo que son función de la intensidad de la carga térmica, la cual se introduce en la formulación constitutiva basada en la Teoría de la Plasticidad, o bien en la Teoría de la Elasto-Viscoplasticidad, la Teoría de Daño, Mecánica de Fractura no lineal o combinaciones de ellas. El problema estructural combinado con acciones térmicas se resuelve considerando el acoplamiento termo-mecánico usando técnicas conocidas de resolución de algoritmos no lineales acoplados en el entorno del MEF. Si bien esta metodología simplifica considerablemente las hipótesis, las condiciones de borde reales del problema y el esfuerzo computacional necesario para su resolución, requiere de un alto grado de conocimiento de las técnicas computacionales de resolución de problemas termo-mecánicos acoplados no lineales, adicionalmente al dominio de las teorías constitutivas mencionadas anteriormente. El desarrollo de este tipo de metodología de análisis permite estudiar con buen grado de precisión la distribución de las temperaturas, tensiones y deformaciones en la masa del hormigón, permitiendo de ese modo evaluar los aspectos más relevantes del fenómeno, empleando elementos finitos convencionales a niveles de análisis meso y macro mecánico y comparar dichos resultados con las predicciones de los métodos propuestos por los reglamentos actuales lo cual contribuye a un diseño más eficiente y racional de las estructuras con riesgo de falla por incendio o exposición a temperaturas elevadas durante periodos prolongados de tiempo, tales como túneles, rascacielos, estructuras de contención nuclear, etc.

2. MODELO PARABÓLICO DE DRUCKER PRAGER CON VISCOPLASTICIDAD

A nivel constitutivo se emplea un modelo para hormigones maduros sometidos a altas temperaturas, apto para la simulación de casos de incendio en estructuras de hormigón y hormigón armado a nivel macro/mesomecánico. La base del modelo está constituida por la teoría de la elasto-viscoplasticidad de Perzyna (1963) considerando una modificación del criterio invíscido de Drucker-Prager (1952), previa calibración del mismo en función de la evolución de las resistencias a compresión y tracción uniaxial en función de la temperatura. Los procesos en los que las estructuras se someten a altas temperaturas son dependientes del tiempo de exposición, y de acuerdo con evidencias experimentales el hormigón sufre fenómenos reológicos durante la exposición a temperaturas elevadas (fenómeno denominado transient creep). La formulación adoptada permite tener en cuenta el efecto tiempo-tasa dependiente por medio de la consideración de la teoría de la viscoplasticidad propuesta por Perzyna, considerando además la variación de los parámetros de viscosidad con la temperatura, integrando de manera natural la historia de tensiones y deformaciones bajo carga, acción de temperatura y fenómenos reológicos, obteniendo de este modo una herramienta numérica para el análisis de estructuras reales sometidas a acciones térmicas elevadas tales como el caso de incendios.

2.1 *Modelo constitutivo*

El criterio de máxima resistencia se plantea como:

$$F = F(\boldsymbol{\sigma}, \boldsymbol{q}) = F(J_2, I_1, \boldsymbol{q}) \qquad (1)$$

$$F = J_2 + \alpha(T) I_1 - \beta(T) + \chi_j(\boldsymbol{q}, T) \qquad (2)$$

En la ecuación (1), F(**σ** , **q**) representa la función de fluencia del material, dependiente del tensor de tensiones y del tensor de variables internas **q**, las cuales representan la degradación de la estructura interna del material. A partir de la descomposición aditiva del tensor de tensiones en sus partes volumétrica y desviadora, es posible expresar el criterio de Drucker-Prager (ver ec. (2)) en términos de los invariantes del tensor de tensiones, invariante desviador J_2 y del primer invariante I_1 o traza de σ, y de la fuerza de endurecimiento termo-mecánica, X_j (**q**,*T*), ver Coussy et al.(2004). Los parámetros de resistencia α =*α* (*f´c, f´t,T*) y β =*β* (*f´c,f´t,T*) son dependientes de las resistencias a compresión *f´c* y a tracción *f´t* del material las cuales, a su vez, dependen de la temperatura como se ilustra en las figuras siguientes:



Figura 1: Evolución de f't con la temperatura

$$\alpha(T) = \frac{f_c'(T) - f_t'(T)}{2} \qquad (3)$$

$$\beta(T) = \frac{f_c'(T) + f_t'(T)}{2} \qquad (4)$$

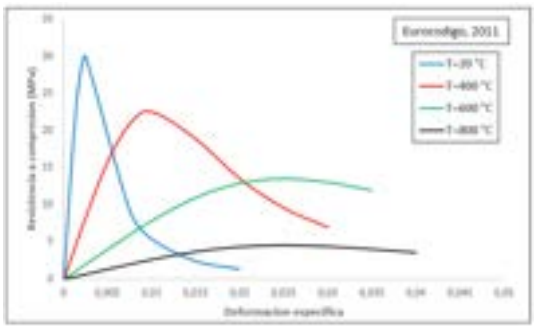


Figura 2: Evolución de f'c con la temperatura

La superficie de fluencia parabólica del modelo así planteado origina las curvas que se ilustran en la Figura 3, en las que se aprecia la contracción del dominio encerrado bajo la curva de máxima resistencia a medida que se incrementa la temperatura de exposición del material, desde el valor inicial a una temperatura de referencia de 20°C, la cual evoluciona gradualmente y conlleva a la reducción de la resistencia mecánica tanto en tracción como en compresión uniaxial.

Figura 3: Evolución criterio DP (**σ**, **q**, T°C)

Teniendo en cuenta que el tensor de deformaciones

se puede descomponer en una parte elástica, otra plástica y la componente debida a la temperatura, de la siguiente manera:

$$\varepsilon = \varepsilon_e + \varepsilon_p + \varepsilon_T \qquad (5)$$

También es posible expresar la componente plástica de la deformación (asumiendo Q = F, flujo plástico asociado) como la descomposición aditiva en una parte volumétrica y la parte desviadora. El cumplimiento de la condición general de consistencia plástica considerando el acoplamiento termo-mecánico toma la forma de la ecuación (6)

$$d\dot{F} = \frac{\partial F}{\partial \sigma} : d\dot{\boldsymbol{\sigma}} + \frac{\partial F}{\partial q} : d\dot{\boldsymbol{q}} + \frac{\partial F}{\partial q}\frac{\partial q}{\partial T} \qquad (6)$$

Expresando la condición de consistencia en términos de la variable plástica de endurecimiento/ ablandamiento y operando se obtiene la expresión clásica del multiplicador plástico

$$d\lambda = \frac{1}{H_{pl}}\left[\frac{\partial F}{\partial \sigma_{ij}} d\sigma_{ij} - H_T dT\right] \qquad (7)$$

con $$H_{pl} = \frac{\partial F}{\partial \chi_j}\frac{\partial \chi_j}{\partial \kappa_j}\frac{\partial \kappa_j}{\partial \lambda} \qquad (8)$$

siendo κ_j y χ_j las variables internas de endurecimiento y la fuerza de endurecimiento interna conjugada, respectivamente. H_{pl} se denomina módulo de endurecimiento y H_T es el denominado módulo térmico. A fin de introducir la dependencia en el tiempo/tasa, se plantea la modificación de la superficie de máxima resistencia de Drucker-Prager (1952) siguiendo la propuesta de Perzyna (1963) quien formula la existencia del potencial viscoplástico G, ver Rizo Patrón et al (2017).

3. ANÁLISIS NUMÉRICOS

Se presentan en esta sección los análisis comparativos de la respuesta del modelo siguiendo dos criterios: macro mecánico y mesomecánico, entendiendo como nivel macro a aquel análisis en el que se considera al material como un continuo de una fase única, mientras que el análisis mesomecánico involucra las fases mortero y agregado cada una con sus propiedades particulares. Se estudia la evolución del gradiente térmico en el material y la generación de tensiones en el mismo. Los mapeos de temperatura [°C] y de tensiones [kg/cm^2] generadas se ilustran en las siguientes figuras para intervalos de tiempo seleccionados y que cubren una exposición total máxima de 120 minutos, en concordancia con los tiempos indicados en los códigos de construcciones para el análisis de estructuras sometidas a la acción del fuego (ACI / EC2).

3.1 *Criterio macromecánico*

El modelo en estudio a nivel macromecánico corresponde a una probeta cuadrada de dimensiones bxb = 20 cm x 20 cm, representando hormigón simple con una resistencia de 30 MPa. La malla se compone de 100 elementos cuadriláteros en estado plano de tensiones, ver Figura 4.

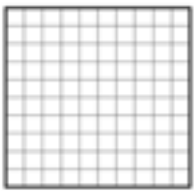


Figura 4: Malla macro-mecánica

En la Tabla 1 se indican los valores de las propiedades termo-mecánicas, a temperatura ambiente (20°C), del hormigón que conforma la malla.

Propiedades del hormigón	
Módulo de Elasticidad	260.000 kg/cm^2
Coef. de Poisson	0,20
Densidad	0,0024 kg/cm^3
Calor Específico	900 J / kg°C
Conductividad Térmica	1,6 W/m°C
Coef. de dilatación	1.10^{-5} 1/°C

Tabla 1: Propiedades termo-mecánicas del hormigón a temperatura ambiente (20°C)

3.2 *Criterio mesomecánico*

Este criterio permite la observación del material como bifásico, y considera la existencia de elementos finitos representativos de los agregados y de la matriz de mortero. Las mallas meso mecánicas fueron generadas mediante un proceso estocástico, en el cual primeramente se subdivide la superficie de la probeta en polígonos de Voronoi, sobre cuya base se aplica una perturbación Monte Carlo que modifica la base obteniéndose un arreglo aleatorio, ver Stankowski (1990), Vonk (1992). Mediante este proceso se generan las posiciones de los agregados y el mortero entre estos, debiéndose luego realizar en general una corrección especifica de aquellos sectores de la malla en los cuales la geometría presente zonas de alta irregularidad con el fin de eliminar las mismas. Finalmente, sobre la base de los polígonos se generan los elementos finitos planos triangulares, ver Figuras 5 y 6:

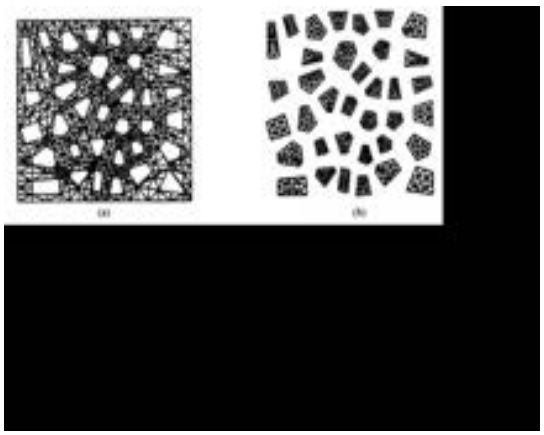


Figura 5: Proceso de generación malla meso-mecánica

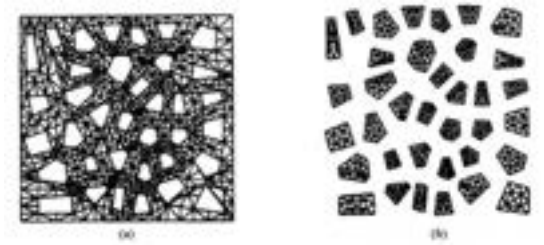


Figura 6: malla mesomecánica (6x6 agregados)

Malla 1: cuadrada, de 20cm x 20cm, representa una probeta de hormigón simple de 30 MPa a nivel mesomecánico, compuesta por 288 elementos de agregado y 416 elementos de mortero, en estado plano de tensiones, a la que se le aplica una temperatura de 200°C en sus cuatro bordes.

Malla 2: probeta cuadrada de 20cm x 20cm que simula una probeta de hormigón simple de 30 MPa a nivel mesomecánico, compuesta por 676 elementos de agregado y 964 elementos de mortero, en estado plano de tensiones, a la que se le aplica una temperatura de 200°C en sus cuatro bordes.

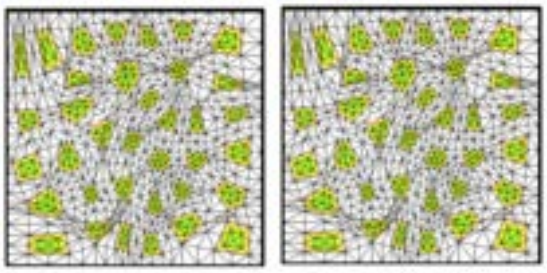


Figura 7: Mallas meso-mecánicas (4x4 / 6x6)

Las propiedades del agregado y del mortero consideradas se indican en la tabla 2.

Propiedades	Mortero	Agregado
Módulo de Elasticidad	200.000 kg/cm^2	320.000 kg/ cm^2
Coef. de Poisson	0,20	0,25
Densidad	0,0020 kg/cm^3	0,0017kg/cm^3
Calor Específico	900 J / kg°C	850 J / kg°C
Conductividad Térmica	1,4 W/m°C	1,2 W/m°C
Coef. de dilatación	1,1 .10^{-5} 1/°C	9 .10^{-6} 1/°C

Tabla 2: Propiedades termo-mecánicas del agregado y del mortero a temperatura ambiente (20°C)

3.3 *Simulación numérica*

3.3.1 Malla macro-mecánica

En la Figura 8 se presenta la comparación de la evolución de la temperatura en el tiempo en cuatro puntos de la malla macro-mecánica en distintas ubicaciones de la sección transversal.

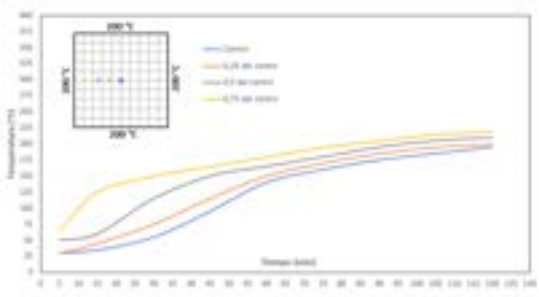


Figura 8: Evolución temperatura vs tiempo

En las Figuras 9, 10 y 11 se ilustra la evolución en el tiempo de las tensiones que caracterizan al estado plano asumido en estos análisis (σ_{xx}, σ_{yy}, τ_{xy}). En estas gráficas se puede apreciar como los valores se incrementan inicialmente al alcanzar la temperatura esas ubicaciones, para luego pasar por un pico y descender finalmente a medida que se avanza hacia el equilibrio térmico. Se pueden apreciar además, las diferentes trayectorias evolutivas de las variables tensionales a medida que transcurre el tiempo.

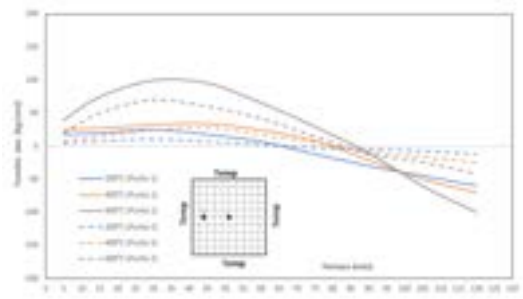


Figura 9: Evolución de las tensiones σ_{xx} vs tiempo en dos puntos de la sección transversal

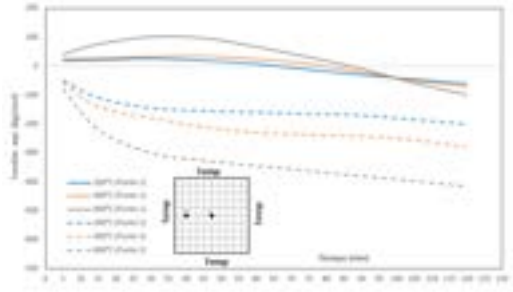


Figura 10: Evolución de las tensiones σ_{yy} vs tiempo en dos puntos de la sección transversal

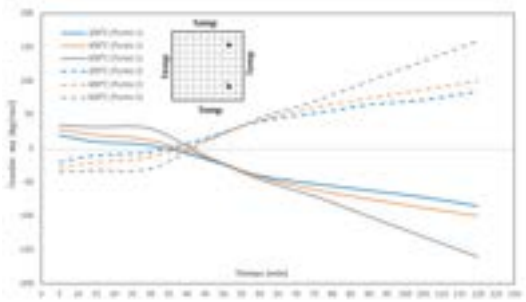


Figura 11: Evolución de las tensiones τ_{xy} vs tiempo en dos puntos de la sección transversal

3.3.2 Mallas mesomecánicas

Con el fin de indagar sobre la incidencia de la configuración de la malla en el análisis tensional, se presentan en las siguientes figuras algunos resultados obtenidos en las mallas meso mecánicas. Si bien se aprecia una cierta concordancia para puntos ubicados en similares posiciones, se hallan algunas diferencias que en rigor pueden incrementarse a medida que la dosificación de la pasta cementicia genere propiedades termo-mecánicas que difieran de aquellas que poseen los agregados, ver las Figuras 12 a 14, en las que se ilustran las comparaciones tensionales entre puntos ubicados en el mortero o en el agregado y contrastados con los valores obtenidos siguiendo el criterio de material homogéneo (macro-mecánico).

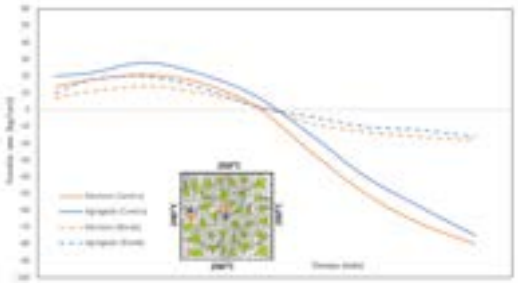


Figura 12: Evolución de las temperaturas en el tiempo obtenidas con cada malla

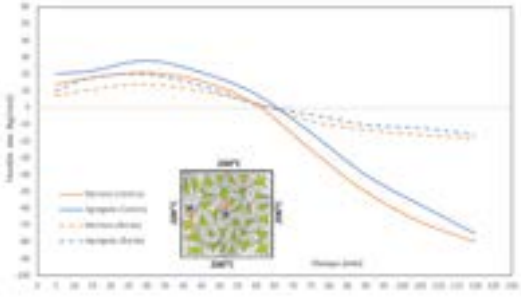


Figura 13: Evolución de las tensiones σ_{xx} en el mortero y en el agregado en dos puntos de la sección transversal

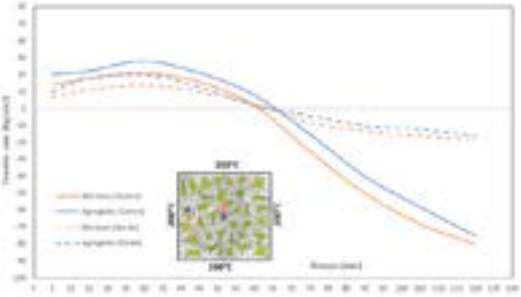


Figura 14: Evolución de las tensiones σ_{yy} en el mortero y en el agregado en dos puntos de la sección transversal

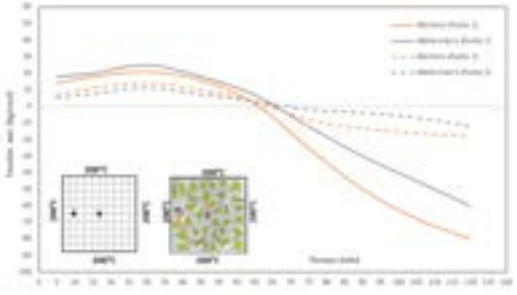


Figura 15: Tensiones σ_{xx} en el mortero y en la malla macro-mecánica, en dos puntos de la sección transversal

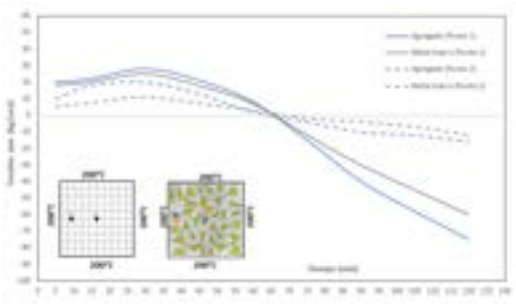


Figura 16: Tensiones σ_{xx} en agregados, en dos puntos de la sección transversal

Los resultados obtenidos son satisfactorios, ya que en principio esta metodología permite estudiar diferentes casos en los que la constitución material entre las fases difieran, por ejemplo ate el uso de hormigones de alta resistencia u hormigones de diferentes clases, analizar los gradientes térmicos y por ende los diferenciales tensionales que se produzcan dentro de la masa del hormigón para determinadas dosificaciones del mismo, pudiéndose predecir mediante este criterio el riesgo de fisuración interna del material ante diversos grados de exposición.

4. CONCLUSIONES

Se ha presentado un análisis computacional a niveles macro/meso mecánico del problema acoplado termo-mecánico aplicable a hormigón estructural convencional o de alta resistencia. La técnica adoptada implica el empleo de modelos constitutivos basados en la mecánica de medios continuos, lo cual en el marco global del Método de los Elementos Finitos No lineal posibilita el estudio de problemas de predicción de gradientes térmicos y estados tensionales en el interior del material teniendo en cuenta la degradación del mismo por afectación térmica. El planteo adoptado permite el estudio de problemas de capacidad portante estructural a nivel local o global (seccional/estructural), conservando un grado de precisión adecuada con las consiguientes ventajas en cuanto a esfuerzo computacional, el cual para las mallas y rango de valores empleados oscila entre 30 – 120 minutos, dependiendo del problema en particular. Esto implica un gran ahorro en recursos computacionales, tiempo de análisis y posibilidad de incluir mayor variedad de casos en comparación con los criterios basados en la Mecánica de Fluidos Computacional, los cuales implican en algunos casos varios días de cálculo, además de la dificultad propia de dichos modelos en cuanto a la adecuada calibración de los mismos y asignación de condiciones de borde.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado con fondos del Proyecto de Investigación 23/C162 perteneciente al Instituto de Materiales, Estructuras y Construcciones (IMEC) de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, aprobado por el Consejo de Investigaciones de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Santiago del Estero (CICyT-UNSE).

6. REFERENCIAS

Bazant, Z. P., Kaplan, M.F., Concrete at high temperatures: material properties and mathematical models, *Pearson Education*, 1996.

Bošnjak, J., Ožbolt, J., Modeling thermal strain of concrete at mesoscale, 9th International *Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures (FraMCoS-9),* Berkeley, USA, 2016.

Coussy, O., *Poromechanics*, John Wiley & Sons Ldt., England, 2004.

Drucker, D.C., Prager, W, Soil mechanics and plastic analysis or limit design, *Quaterly of Appl Math,* Vol 10, 157-165, 1952.

Haniche, R., Contribution a l' etude des betons portés en temperature - evolution des propiétées de transfert: etude de l'eclatement, Ph.D. thesis, Institut National de Sciences Appliquées de Lyon, France, 2011.

Kodur V., Dwaikat, M., Raut, N., Macroscopic FE model for tracing the fire response of reinforced concrete structures, *Engineering Structures*, Vol 31, 2368-2379, 2009.

Kukla, K., Concrete at high temperatures: hygro-thermo-mechanical degradation of concrete, *PhD Thesis, University of Glasgow*, United Kingdom, 2010.

Lorefice, R., Etse, G., Lopez, C, Carol, I., Mesomechanic Analysis of time dependent Concrete Behaviour, EURO-C, *Computational Modelling of Concrete Structures*, Austria, 2006.

Lorefice, R, Etse, G., Vispoplastic approach for rate-dependent failure analysis of concrete joints and interfaces. *International Journal of Solids and Structures*, Vol 45, 2686-2705, 2008.

Luccioni, B., Figueroa, M., Danesi, R., Thermo-mechanic model for concrete exposed to elevated temperatures, *Engineering Structures*, Vol 25, 729-742, 2003.

Perzyna, P., The constitutive equations for rate sensitive materials, *Quarterly of Appl Math,* Vol 20, 321-332, 1963.

Pimienta, P., Alonso, M., Jansson McNamee R., Mindeguia, J-C., Behaviour of high-performance concrete at high temperatures: some highlights, *RILEM Technical Letters*, Vol 2: p45-52, 2017.

Rizo Patrón, M., Ledesma, M., Navarro, I., Criterios

de evaluación de falla de estructuras de hormigón sometidas a temperaturas elevadas". *Congreso Argentino de Ingeniería (CADI)*, Tucumán, 2014.

Rizo Patrón, M., Pérez, G.A., Lorefice, R. H., Análisis de estructuras de hormigón sometidas a acciones térmicas elevadas, *III Congreso Arg. de Ingeniería (CADI)*, Resistencia, Chaco, 2016.

Rizo Patrón, M., Lorefice, R.H., Pérez, G.A., Análisis del comportamiento estructural de columnas de hormigón armado a temperaturas elevadas, *24° Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural (AIE)*, Bs. As., 2016.

Rizo Patrón, M., Pérez, G.A., Lorefice, R.H., Modelo constitutivo macromecánico para hormigones a temperaturas elevadas, *Congreso de Métodos Numéricos en Ingeniería,* Valencia, España, 2017.

Rizo Patrón, M., Lorefice, R.H., Pérez, G.A., Diseño de secciones de hormigón armado considerando escenarios de incendio, *25° Jornadas Argentinas de Ingeneiría Estructural (AIE)*, Resistencia, Chaco, 2018.

Stankowski, T., Numerical simulation of progressive failure in particle composites. PhD Thesis, Dept. CEAE, University of Colorado, Boulder, USA, 1990.

Vonk, R., Softening of concrete loaded in compression. PhD Thesis, Technische Universität Eindhoven, Postbus, Netherlands, 1992.

Analisis térmico de heat pipe tubulares, utilizados en colectores solares para calentar aire

Gomez Khairallah Anibal Oscar[1], Cattaneo Carlos Alberto[1,2], Togo Pablo Sebastian[2]

(1) Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero. agomez@unse.edu.ar, cacatta@unse.edu.ar
(2) Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero. psebastian@gmail.com

RESUMEN

Se encuentra que las propiedades térmicas tales como distribución de temperatura, resistencia térmica y coeficiente de conductividad térmica efectiva, de Heat Pipe tubulares que funcionan dentro de colectores solares para calentar aire, son dependiente de las siguientes variables. El tipo de construcción ya que el Heat Pipe puede estar formado por un tubo o por dos tubos coaxiales, en si están cargados con fluidos de trabajo o no y el flujo de aire a calentar. Además la radiación solar en el momento de la medición, hace que los propiedades térmicas no sean constantes en el tiempo lo que lleva a que se calculen valores promedios de ellas. Se encuentra que el Heat Pipe tubular cargado al 30% de su volumen con R134 y con un mayor flujo de aire a calentar, presenta las mejores propiedades térmicas.

ABSTRACT

The thermal properties such as temperature distribution, thermal resistance, and coefficient of effective thermal conductivity, of tubular heat pipes operating within solar collectors to heat air, are found to be dependent on the following variables. The type of construction since the Heat Pipe can be formed by a tube or by two coaxial tubes, whether they are loaded with working fluids or not and the air flow to be heated. In addition, solar radiation at the time of measurement makes the thermal properties not constant over time, which leads to the calculation of average values for them. It is found that the tubular Heat Pipe loaded to 30% of its volume with R134 and with a greater flow of air to be heated, presents the best thermal properties.

Palabras claves: Heat Pipe - Colector solar - Resistencia térmica - Coeficiente de conductividad térmica.

Keywords: Heat Pipe - Solar collector - Thermal resistance - Coefficient of thermal conductivity

1. INSTRUCCION

Para aprovechar la energía solar térmica, es necesario disponer de equipos que tengan un muy buen desempeño en la transferencia de calor, lo que hará que el equipo sea competitivo debido a su alto rendimiento energético.

Un dispositivo eficiente para la transferencia de calor es el Heat Pipe.
El Heat Pipe utiliza el calor latente entre la fase liquida y gaseosa de un fluido, para transferir calor de un lugar a otro mediante la evaporación y la condensación del fluido.
El Heat Pipe está formado por un recipiente metálico, en el que podemos diferenciar tres zonas, el colector donde entra el calor el cual es absorbido mediante la evaporación del fluido, también llamado evaporador, el condensador por donde sale el calor mediante la condensación del fluido y la zona adiabática que comunica el evaporador con el condensador (figura 1). Dependiendo del diseño del Heat Pipe este puede tener o no la zona adiabática. Además, los Heat Pipe pueden tener o no en su interior una mecha, la cual tiene la función de facilitar el movimiento de la fase liquida del condensador al colector cuando el Heat Pipe está trabajando en una posición desfavorable a la acción de la gravedad.

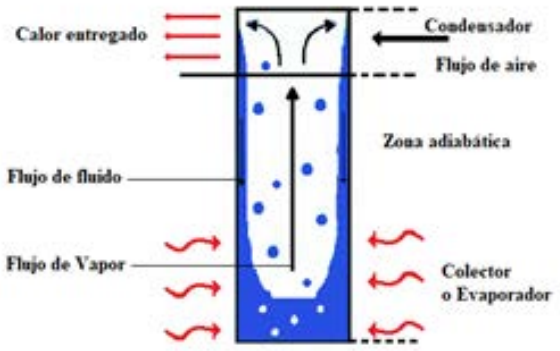


Figura 1. Esquema de un Heat Pipe indicando las diferentes zonas y el movimiento del fluido de trabajo.

Las características que hacen que el Heat Pipe sea un equipo de gran utilidad son: la alta tasa de transferencia de calor, un diseño sencillo, el bajo peso, el bajo costo de fabricación y de mantenimiento.
Mediante el ciclo que desarrolla el fluido dentro del Heat Pipe el cual es la evaporación del líquido en la zona colector, luego este gas se traslada a la zona condensador donde se condensa y ese líquido condensado regresa al colector, se logra que el Heat Pipe tenga conductividades térmicas efectivas superiores a 200 veces la del cobre puro.
Para comparar las prestaciones de un Heat Pipe con una barra de metal macizo de iguales dimensiones, en necesario determinar la conductividad térmica y la resistencia térmica de los mismos.
Ensayando un Heat Pipe de cobre con agua Salem (1999) encuentra que la conductividad térmica es mayor para los Heat Pipe con mecha que para los sin mecha, sus resultados también indican que la conductividad térmica del Heat Pipe depende del ángulo de inclinación que tenga respecto de la horizontal.
Otro autor que también estudia un Heat Pipe de cobre con agua como fluido de trabajo es Brusly Solomon (2016), el cual encuentran que la conductividad térmica del Heat Pipe aumenta con el aumento de flujo de calor que transporta el Heat Pipe, con valores aproximados de conductividad térmica de 1000 W/(mK) para flujos de calor de 50 W, alcanzando valores de 18294 W/(mK) para flujos de calor de 300W. Mientras que la resistencia térmica total del Heat Pipe desciende a medida que aumenta el flujo de calor.
El trabajo de Mozumder (2010) estudia un Heat Pipe de cobre que trabaja con distintos fluidos, los cuales se utilizan con distintos grados de llenado y con distintas cargas térmicas, en el mismo se observa que la conductividad térmica y la resistencia térmica del Heat Pipe son dependiente las tres variables estudiadas.
Además los Heat Pipe se usan para construir colectores solares para calentamiento de agua y estos equipos se vienen estudiando desde hace muchos años, Mathioulakis (2002) y Azad (1987) estudiaron colectores solares con Heat Pipe construido con tubo de cobre que utilizaban etanol como fluido de trabajo. Harikrishnan (2016) profundiza las pruebas de los Heat Pipe solares utilizando diferentes fluidos de trabajo, diferentes relaciones de llenado y ángulos de inclinación. Los fluidos de trabajo que utilizo fueron metanol, acetona y agua, con proporciones de llenado del 25%, 50%, 75% y 100%.
En los trabajos de Salem (1999), Brusly Solomon (2016) y de Mozumder (2010) se determinan las propiedades térmicas de los Heat Pipe, pero mediante ensayos realizados en laboratorio, donde el colector recibía un flujo de calor controlado.
En cambio, cuando el Heat Pipe forma parte de un colector solar para calentar aire, es muy escasa la bibliografía que caracterice térmicamente al Heat Pipe, porque la principal diferencia es que en un colector solar el flujo de calor que recibe el evaporador del Heat Pipe no es constante en el tiempo, este flujo de energía está supeditado a la radiación solar, la cual depende de la posición geográfica, la hora y del nivel de nubosidad al momento del ensayo. Por lo tanto, las propiedades térmicas que se evalúen en el Heat Pipe serán valores instantáneos al momento de realizar la medición.
En el presente trabajo se caracterizan térmicamente

dos Heat Pipe tubulares incorporados a colectores solares diseñados para calentar aire. También se comparan sus propiedades térmicas cuando los Heat Pipe tienen fluido de trabajo y cuando están vacíos en su interior.

2. MATERIALES Y METODOS

Los heat pipe se construyeron con tubos cilíndricos de cobre de diámetro exterior de 28 mm y 1 mm de espesor, la longitud del tubo fue de 1,2 m.
Se construyeron dos Heat Pipe, uno esta formo por un solo tubo como se detalla arriba, a este Heat Pipe lo llamaremos monotubo (HPMT) y el otro tiene en su interior otro tubo cilíndrico de cobre de 22 mm de diámetro, formando una cámara de 5 mm de espesor donde se aloja el fluido te trabajo, a este Heat Pipe lo denominaremos bitubo (HPBT).
Los Heat Pipe se colocaron en el interior de un colector solar como lo detalla Togo (2020).
Durante los ensayos se midió la radiación solar incidente, en la zona condensador del colector solar se midió el caudal de aire, la temperatura de entrada y de salida del aire que circula por el mismo.
En el Heat pipe se midió la temperatura del tubo a lo largo del evaporador en 3 puntos, uno a 5 centímetros del inicio del tubo (T1), otro en el tubo en el centro del evaporador (T2) y el último a 5 centímetros antes que termine el evaporador (T3). En el condensador del Heat Pipe se midió la temperatura del tubo en el centro de la zona (T4) y la presión de vapor del gas (P).
En la figura 2 se muestra el montaje experimental de los colectores solares con los Heat Pipe instalados y con todos los detectores de temperatura, caudal, radiación y presión conectados, la misma se tomó antes de colocar la placa de policarbonato del colector solar.



Figura 2. Montaje de los Heat Pipe dentro de los colectores solares, con todos los sensores colocados

En la figura 2 podemos ver que los Heat Pipes no tiene zona adiabática, la mayor parte es evaporador que mide 1,10 m y el condensador tiene una longitud de 0,10 m.
Los Heat Pipe se utilizaron con una carga del 30% del volumen de R134a y vacíos. Las temperaturas se midieron con termocuplas de cromel-alumen, la presión de gas de trabajo se determinó usando un Manifold Digital Testo 550.
Se utilizaron dos caudales a de aire en la zona colector, un caudal bajo (cb) de aproximadamente 0,0024 m3/s y un caudal alto (ca) de aproximadamente 0.0034 m3/s
Para caracterizar los Heat Pipe térmicamente necesitamos determinar la conductividad térmica efectiva y la resistencia térmica de los mismos. Para ello debemos saber cuánto es el calor que transporta el Heat pipe.
El calor que transfiere el Heat Pipe del evaporador al condensador es igual al calor ganado por el aire que circula en la zona condensador del colector solar, a este calor lo podemos calcular mediante la ecuación 1 analizada por Duffie & Beckman (2013)

$$\dot{q} = \dot{m}_a C_a \Delta T_a \quad (1)$$

Donde:
$\dot{q}$: Flujo de calor que entrega el Heat Pipe (W)
$\dot{m}_a$: Flujo másico de aire en la zona condensador (kg/s)
C_a: Calor específico del aire en (J/(kg.°C))
ΔT_a: Diferencia entre la temperatura de salida y de

entrada del aire en la zona condensador del colector solar

Brusly Solomon (2016) consideran al Heat Pipe como una barra conductora de calor desde el evaporador el cual está a alta temperatura al condensador que está a baja temperatura y aplicando la ecuación de calor de Fourier estima el coeficiente de conductividad térmica efectivo del Heat Pipe mediante la ecuación 2.

$$k_{ef} = \dot{q} \frac{L_{ef}}{A\,\Delta T_{c-c}} \qquad (2)$$

Donde:
k_{ef} : Coeficiente de conductividad térmica efectivo (W/(m°C))
$\dot{q}$: Flujo de calor que entrega el Heat Pipe (W)
ΔT_{c-c} : Diferencia entre la temperatura media del tubo en el evaporador y la temperatura media del tubo en el condensador (°C)
A : Area transversal del Heat Pipe
L_{ef} : Longitud efectiva del Heat Pipe

Siendo la longitud efectiva del Heat Pipe la suma de la mitad de la longitud del evaporador y de la mitad de la longitud del condensador como lo expresa la ecuación 3.

$$L_{ef} = \frac{L_{evaporador} + L_{condensador}}{2} \qquad (3)$$

Para determinar la resistencia térmica del Heat Pipe tendremos en cuenta las consideraciones de Holman (1998) en la cual propone la aplicación de la analogía eléctrica a un sistema de transmisión de calor, esta resistencia térmica indica la oposición del sistema a la transferencia de calor desde la zona de alta temperatura hasta la zona de baja temperatura. En el Heat Pipe la zona caliente es el evaporador y la zona fría es el condensador, teniendo en cuenta esto podemos calcular la resistencia térmica del Heat Pipe, considerando la diferencia entre la temperatura media del tubo en el evaporador y la temperatura media del tubo en el condensador, dividiendo esta diferencia por el flujo de calor que entrega el Heat Pipe ecuación 4.

$$R_{te} = \frac{\Delta T_{c-c}}{\dot{q}} \qquad (4)$$

Donde:
R_{te} Resistencia térmica (°C/W).
$\dot{q}$: Flujo de calor que entrega el Heat Pipe (W).
ΔT_{c-c}: Diferencia entre la temperatura media del tubo en el evaporador y la temperatura media del tubo en el condensador (°C).

3. RESULTADOS Y DISCUCIONES

Los ensayos se realizaron en el mes de abril del año 2021, en la ciudad de Santiago del Estero, Argentina. Primero analicemos los resultados para los Heat Pipe cargados con R134a.
En la figura 3 se muestran los valores de presión del fluido de trabajo en fase gaseoso en el condensador. De la misma podemos observar que la presión del gas en el Heat Pipe bitubular (HPBT) es menor que la del Heap Pipe monotubular (HPMT), tanto en el régimen de flujo de aire en la zona condensador de caudal bajo (cb) como con de caudal alto (ca).

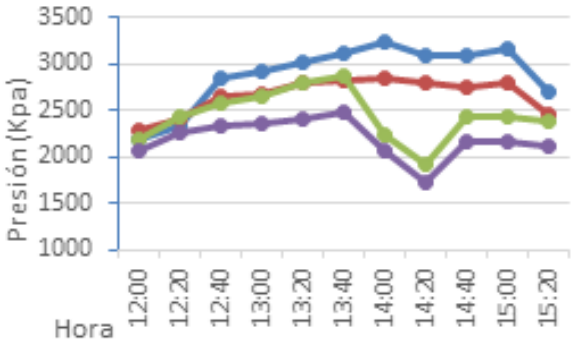


Figura 3. Gráfico de la presión en los Heat Pipe cargado con R134a, medida en el condensador. Azul HPMT(cb) Heat Pipe monotubular caudal bajo, Bordo HPBT(cb) Heat Pipe bitubular caudal bajo, Verde HPMT(ca) Heat Pipe monotubular caudal alto, Violeta HPBT(ca) Heat Pipe bitubular caudal alto.

En las figuras 4 se muestran los perfiles de temperatura del Heat Pipe para un régimen de aire de caudal bajo, la figura 4a muestra el perfil de temperatura del Heat Pipe monotubular, en la cual se puede observar que las temperaturas medidas a lo largo del evaporador (T1, T2 y T3) son casi uniforme y que la temperatura del condensador (T4) disminuye un poco. En la figura 4b se muestra el perfil de temperatura del Heat Pipe bitubular, en la cual se puede observar que la temperatura del centro del evaporador (T2) es muy superior a las que se miden en los extremos de esa zona, y que la temperatura del condensador (T4) es similar a la medida a la salida del evaporador (T3).
También se observa que la temperatura alcanzada en el centro del evaporador del Heat Pipe bitubular es

superior a la medida para el Heat Pipe monotubular.

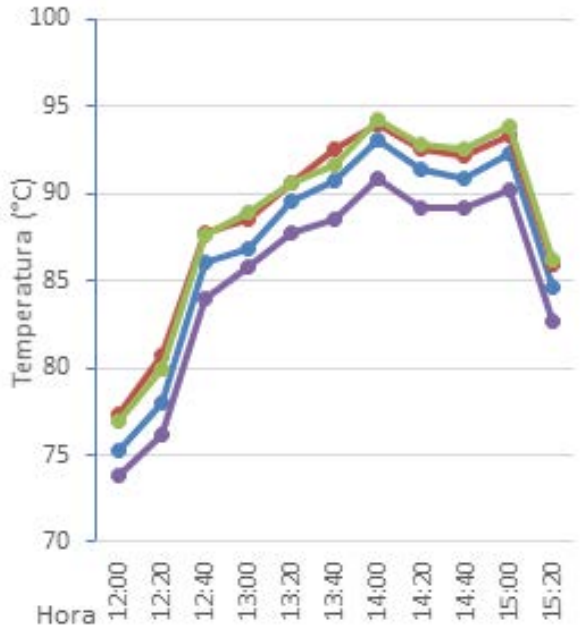


Figura 4a. Temperaturas a lo largo del Heat Pipe monotubular cargado con R124, con régimen de aire de caudal bajo. Azul T1, Bordo T2, Verde T3, Violeta T4.

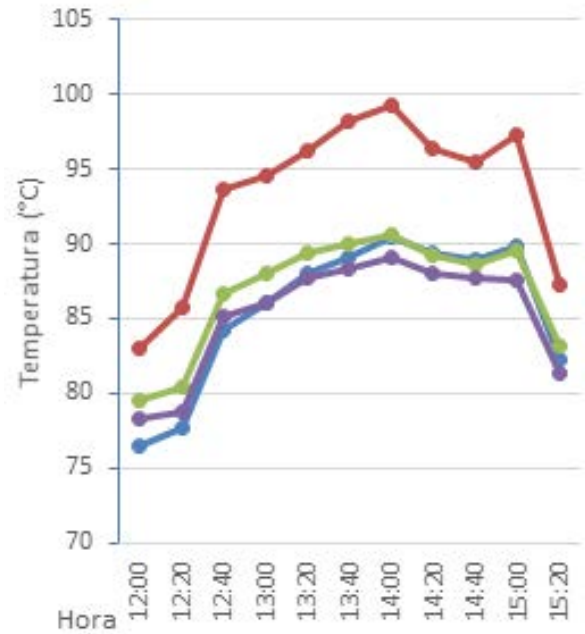


Figura 4b. Temperaturas a lo largo del Heat Pipe bitubular cargado con R124, con régimen de aire de caudal bajo. Azul T1, Bordo T2, Verde T3, Violeta T4.

Utilizando la ecuación 2 se determinó la conductividad térmica efectiva de los Heat Pipe en sus diferentes regímenes de flujo de aire, los resultados se muestran en la figura 5, en la cual podemos observar que la conductividad térmica efectiva es mayor para el Heat Pipe bitubular para los dos regímenes de flujo de aire. Además, como se aprecia en el grafico la conductividad térmica efectiva varia en el tiempo, por lo cual se calcula el valor promedio, valores mostrados en la tabla 1.

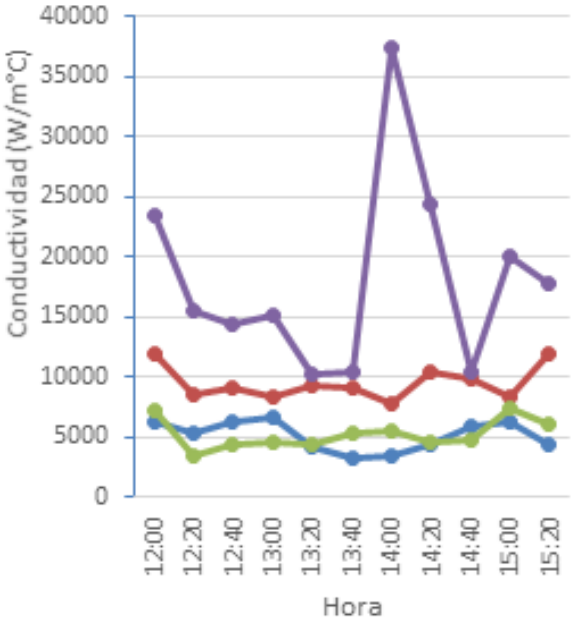


Figura 5. Conductividad térmica efectiva de los Heat Pipe cargados con R 134a. Azul HPMT(cb), Bordo HPBT(cb), Verde HPMT(ca), Violeta HPBT(ca).

Tabla 1. Valores promedios de la Conductividad térmica efectiva de los Heat Pipe cargados con R 134a, en W/(m°C)

HPMT(cb)	HPBT (cb)	HPMT(ca)	HPBT(ca)
5093	9508	5244	18076

Los valores promedio de la conductividad térmica efectiva del HPMT no presentan diferencia frente a los dos regímenes de flujo de aire utilizados, mientras que el HPBT con caudal alto la conductividad térmica efectiva es el doble que para el caudal bajo.

La Resistencia térmica se calculó utilizando la ecuación 4, en la figura 6 se grafican los resultados. En la misma se puede observar la variabilidad de los datos en función de la hora de la medición, mostrando como influye la radiación solar y las variables ambientales durante el ensayo, por lo tanto, se calcularon los valores promedio para el tiempo de medición, estos valores se presentan en la tabla 2.

Los valores promedios de la Resistencia térmica de los HPMT no varían con el régimen de flujo de aire, no siendo así para los HPBT en este caso a mayor

flujo de aire menor es la Resistencia térmica.

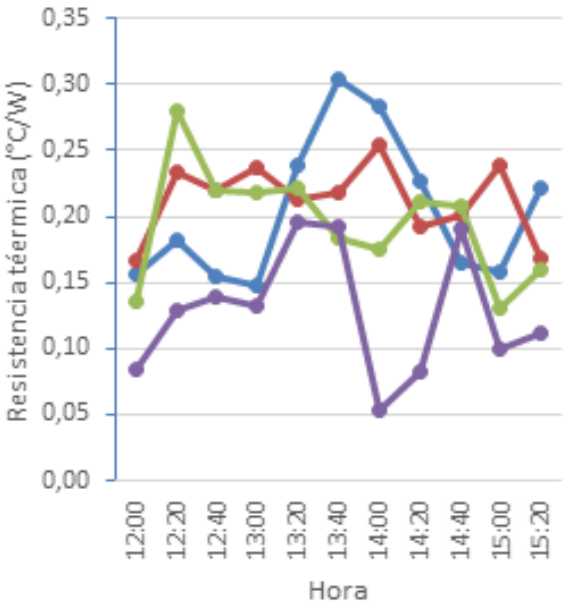


Figura 6. Resistencia térmica de los Heat Pipe cargados con R 134ª. Azul HPMT(cb), Bordo HPBT(cb), Verde HPMT(ca), violeta HPBT(ca).

Tabla 2. Valores promedios de la Resistencia térmica de los Heat Pipe cargados con R 134a, en °C/W

HPMT(cb)	HPBT (cb)	HPMT(ca)	HPBT(ca)
0,20	0,21	0,19	0,13

Analicemos los resultados para los Heat Pipe vacíos. En las figuras 7 se muestran los perfiles de temperatura del Heat Pipe para un régimen de aire de caudal alto, la figura 7a muestra el perfil de temperatura del HPMT, en la cual se puede observar que las temperaturas medidas a lo largo del evaporador son diferentes, siendo mayo la temperatura T2 en el centro del evaporador y que la temperatura del condensador es bastante menor a las temperaturas del evaporador. En la figura 7b se muestra el perfil de temperatura del HPBT, en la cual se observa que la temperatura del centro del evaporador es muy superior a las que se miden en los extremos de esa zona y la temperatura del condensador también es bastante menor a las temperaturas del evaporador.
La temperatura alcanzada en el centro del evaporador por ambos Heat Pipe, son muy similares, algo que no ocurre con los Heat pipe cargados con R134a.

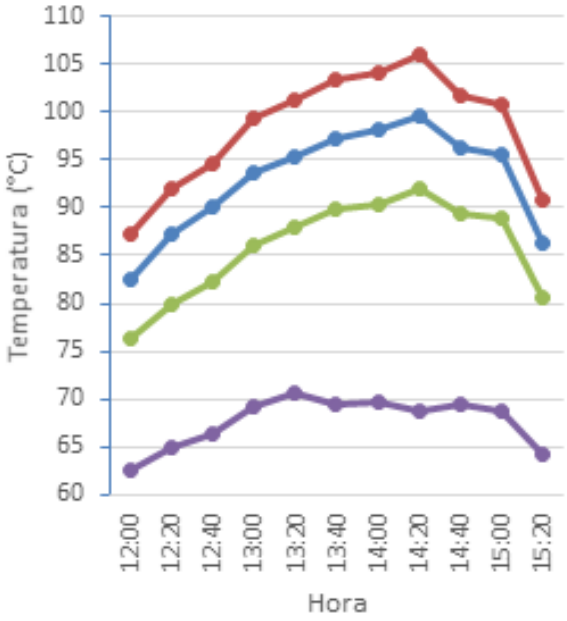


Figura 7a. Temperaturas a lo largo del Heat Pipe monotubular vacío con régimen de aire de caudal alto. Azul T1, Bordo T2, Verde T3, Violeta T4.

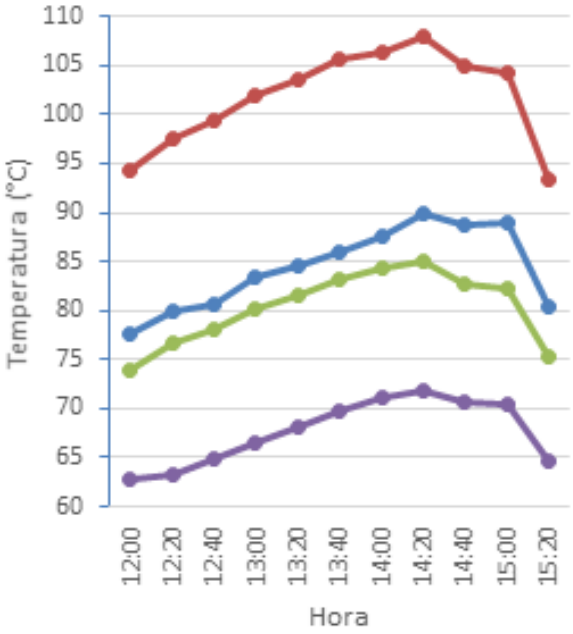


Figura 7b. Temperaturas a lo largo del Heat Pipe bitubular vacío con régimen de aire de caudal alto. Azul T1, Bordo T2, Verde T3, Violeta T4.

En la figura 8, se muestran los resultados para la conductividad térmica efectiva con los Heat Pipe vacíos, donde podemos observar que se vuelven a obtener valores mayores para el Heat Pipe bitubular para los dos regímenes de flujo de aire.

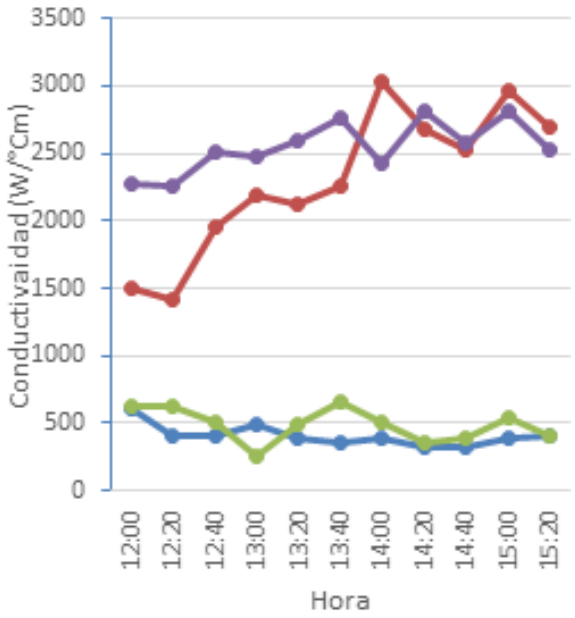


Figura 8. Conductividad térmica efectiva de los Heat Pipe vacíos. Azul HPMT(cb), Bordo HPBT(cb), Verde HPMT(ca), violeta HPBT(ca).

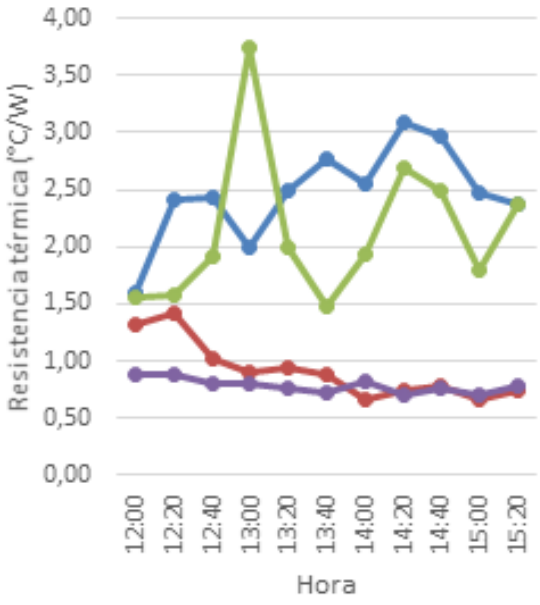


Figura 9. Resistencia térmica de los Heat Pipe vacíos. Azul HPMT(cb), Bordo HPBT(cb), Verde HPMT(ca), violeta HPBT(ca).

Tabla 3. Valores promedios de la Conductividad térmica efectiva de los Heat Pipe vacíos, expresado en W/(m°C)

HPMT(cb)	HPBT (cb)	HPMT(ca)	HPBT(ca)
407	2304	489	2546

Tabla 4. Valores promedios de la Resistividad térmica de los Heat Pipe vacíos. Expresado en °C/W

HPMT(cb)	HPBT (cb)	HPMT(ca)	HPBT(ca)
2,47	0,92	2,14	0,79

En la tabla 3 se muestran los valore promedio para la conductividad térmica efectiva de los Heat Pipe vacíos. Podemos observar que la conductividad térmica efectiva tiene una alta dependencia del tipo de Heat Pipe y muy poca dependencia con el régimen de flujo de aire. Tomando valores mayores para el HPBT.

En la figura 9 se grafican los resultados para la Resistividad térmica de los Heat Pipe vacíos. En la misma se puede observar que el HPMT tiene valores mayores de Resistencia térmica que el HPBT.

Los valores promedio calculados de la Resistencia térmica se muestran en la tabla 2. En la misma se observa que la Resistividad térmica de los Heat Pipe no varían con el régimen de flujo de aire, obteniéndose valores menores para el Heat Pipe bitubo.

4. CONCLUSIONES

Se ensayaron dos Heat Pipe tubulares, uno formado con un solo tubo y el otro por dos tubos coaxiales, los cuales se colocaron dentro de un colector solar. Los mismos se ensayaron con una carga de 30% de R134a y vacíos. Y bajo dos regímenes de flujo de aire.

La carga de fluido de trabajo hace que la distribución de temperaturas de los Heat Pipe sea más uniforme que la encontrada para los Heat pipes ensayados sin carga (vacíos).

Los Heat Pipe con carga de R134a tienen valores de conductividad térmica efectiva mucho mayores que los Heat Pipe vacíos, con respecto a la resistencia térmica los valores para los Heat Pipe cargados son mucho menores que para los Heat Pipe vacíos; esto indica que los Heat Pipe cargados tienen mejores propiedades térmicas que los Heat Pipe Vacios.

También se encuentra que el Heat Pipe bitubular posee mayor conductividad térmica efectiva y menor resistencia térmica que el Heat Pipe monotubular. Esto estaría indicando que la disminución del volumen disponible para que se mueva e fluido de trabajo mejora las propiedades termodinámicas del

Heat Pipe.
En el Heat Pipe bitubular se observa claramente que las propiedades termodinámicas del mismo son dependientes se la extracción de calor, ya que un mayor flujo de aire en la zona colector, aumenta la conductividad térmica efectiva y disminuye la resistencia térmica del Heat Pipe.

5. AGRADECIMIENTO

Se agradece a la SECyT-UNSE por la financiación del proyecto 23/C167.

6. REFERENCIAS

Azad E., Bahar F. Moztarzadeh F. Solar water heater using gravity-assisted heat pipe, *Heat Recovery Systems,* 7 N°4, 343-350, 1987.

Brusly Solomon A., Sekar A. and Yanget S. Analytical expression for thermal conductivity of heat pipe*, Applied Thermal Engineering*, 100, 462–467,2016.

Duffie, J. A., & Beckman, W. A. Solar engineering of thermal processes. Fourth edition. Jhon Wiley & Son, Inc, New Jersey, USA. 2013

Harikrishnan S. S. and Vinod Kotebavi. Performance Study of Solar Heat Pipe with Different Working Fluids and Fill Ratios, IOP Conf. Series*: Materials Science and Engineering* 149, 2016.

Mathioulakis E. and Belessiotis E. A new heat-pipe type solar domestic hot water system, Solar Energy, 72 N°1), 13–20, 2002

Mozumder A., Akon A., Chowdhury M. and Banik S. Performance of heat pipe for different working fluids and fill ratios; *Journal of Mechanical Engineering*, 41 N°2, 96-102, 2010.

Salem A. and Bilal A. Experimental performance of a heat pipe. Int. Comm. Heat Mass Transfer, 26 N°5, 679-684, 1999.

Togo P. S., Gomez Khairallah A. O. y Cattaneo C. A. Colector solar tubular heat pipe para el calentamiento de aire. *Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA*, N° 6, 139- 144, 2020.

Aplicación de un modelo matemático para evaluar perfiles de liberación de sistemas de administración de fármacos

Campos, Santiago Nicolás[1]; Cid, Alicia Graciela[1]; Briones Nieva, Cintia Alejandra[1]; Romero, Analía Irma[1]; Villegas, Mercedes[1]; Gonzo, Elio Emilio[1], Bermúdez, José María[1]

(1) Instituto de Investigaciones para la Industria Química (Universidad Nacional de Salta - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas), Salta, Argentina; campossantiago93@gmail.com

RESUMEN

Ante las nuevas investigaciones y el desarrollo de plataformas de liberación de fármacos resulta de gran importancia contar con modelos matemáticos que sean capaces de describir el perfil de liberación para elucidar los mecanismos involucrados en el proceso, junto con la determinación de parámetros de relevancia farmacéutica. En este trabajo se evaluó la versatilidad del modelo matemático llamado Lumped aplicado en diferentes tipos de formulaciones farmacéuticas, basadas en sistemas pulverulentos (dispersiones sólidas), membranas (films), sistemas semisólidos (hidrogeles), sistemas de tecnología Dome Matrix y sistemas matriciales hinchables polielectrolito-fármaco. El modelo Lumped ajustó muy bien los datos de disolución obtenidos a partir de estos sistemas ($R^2 \geq 0.96$). Los valores calculados de los parámetros farmacéuticos permitieron caracterizar el comportamiento biofarmacéuticos de los sistemas evaluados. El modelo Lumped es versátil y robusto para ajustar los datos obtenidos a partir de diferentes formulaciones y configuraciones. Además, se lo puede combinar con otros modelos para evaluar perfiles de liberación complejos, como el caso de los sistemas Dome Matrix y los sistemas matriciales hinchables.

ABSTRACT

Given the new research and the development of drug release platforms, it is a major to have mathematical models that are capable of describing the release profile, since they allow elucidating the mechanisms occurring during the process and obtaining pharmaceutical parameters of relevance. In this work, the versatility of the mathematical model called Lumped applied in different types of pharmaceutical formulations, based on multiparticulate systems (solid dispersions), membranes (films), semisolid systems (hydrogels), Dome Matrix technology systems and Swellable Drug Polyelectrolyte Matrices. The Lumped model fitted very well the dissolution data obtained from these systems ($R2 \geq 0.96$). The calculated values of the pharmaceutical parameters allowed characterizing the biopharmaceutical behavior of the evaluated systems. The Lumped model is versatile and robust to fit the data obtained from different formulations and configurations. In addition, it can be combined with other models to evaluate complex release profiles, such as Dome Matrix systems and Swellable Drug Polyelectrolyte Matrices.

Palabras claves: plataformas poliméricas, liberación de drogas, modelo matemático

Keywords: polymeric platform, drug release, mathematical model

1. INTRODUCCIÓN

Durante la liberación de fármacos contenidos en una matriz pueden ocurrir diferentes mecanismos que afectan su velocidad de liberación y por lo tanto su perfil de liberación. Es por ello que resulta importante la utilización de modelos matemáticos que logren describir estos perfiles, ya que, de esta manera permiten inferir sobre los mecanismos que ocurren durante la liberación de las drogas y también la obtención de parámetros a partir de los cuales es posible determinar la eficiencia de las formulaciones .

En lo que respecta al área de las ciencias farmacéuticas se han reportado numerosos modelos , de los cuales podemos mencionar los más importantes.

El primer modelo matemático fue propuesto por Higuchi, y fue inicialmente concebido para geometrías planas, pero luego se extendió a diferentes geometrías y sistemas porosos . Por otra parte, Ritger y Peppas describieron una ecuación empírica y simple, adecuada para ajustar los valores correspondientes al primer 60% de la curva de liberación de un fármaco, que permite dilucidar el mecanismo de liberación que tuvo lugar de acuerdo con el valor del exponente difusional. La llamada ley de potencia o ecuación de Korsmeyer-Peppas es una ecuación semi-empírica simple que describe la liberación de fármacos desde sistemas poliméricos. Otro modelo, que tiene en cuenta el efecto acoplado de la difusión tipo Fick y la contribución de la relajación del polímero, es el propuesto por Peppas-Sahlin. Basándonos en esta problemática, nuestro grupo de investigación desarrolló y validó un modelo matemático derivado de una expresión cinética de segundo orden. Esta cinética puede agrupar las etapas principales involucradas en los procesos de liberación o disolución del fármaco. Este nuevo modelo permite ajustar los datos experimentales desde t=0 a $t \rightarrow \infty$. El modelo matemático propuesto se denominó Lumped y describe satisfactoriamente los procesos en los que están presentes los fenómenos de difusión y transferencia al medio de disolución, o cuando solo existe una transferencia externa a un medio fluido en el que la concentración del fármaco aumenta constantemente.

El modelo Lumped permite encontrar una simple relación entre la masa liberada/disuelta y la velocidad de liberación/disolución en función del tiempo en todo el rango de valores obtenidos de un perfil de liberación/disolución, así como también calcular diferentes parámetros de relevancia farmacéutica mediante expresiones sencillas, como la eficiencia de disolución y el tiempo medio de disolución.

En este trabajo se evaluó la versatilidad del modelo matemático llamado Lumped aplicado en diferentes tipos de formulaciones farmacéuticas, basadas en sistemas pulverulentos (dispersiones sólidas), membranas (films), sistemas semisólidos (geles), sistemas de tecnología Dome Matrix y sistemas matriciales hinchables polielectrolito-fármaco.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 *Materiales*

Benznidazol (BZL) fue obtenido de Sigma-Aldrich (St. Louis, EE.UU.). El polímero Poloxamer 407 (P407) comprado de BASF (Buenos Aires, Argentina), mientras que el Poloxamer 188 (P188) de Rumapel SRL (Argentina). El poli-3-hidroxibutirato (PHB) en forma de polvo con una pureza del 99.5% fue provisto por BIOCYCLE, PHB Industrial S.A. (Brasil). La Dexametasona (DEX) e Ivermectina (IVM fueron obtenidas de Todo Droga (Argentina) y el cloroformo de Biopack (Argentina).

Riboflavina (RB) fue comprada de Roche, HPMC con pesos moleculares de 25 (HPMC25) y 120 (HPMC120) kDA de Colocron (Reino Unido), lactosa de Shiesi (Italia), Polietilenglicol (PEG) 6000 de Hoechst (Alemania), Kollidon® K25 de BASF (Alemania) y estearato de magnesio de Eigmann & Veronelli (Italia).

La carboximetilcelulosa sódica (NaCM) fue obtenida de Fluka (Buchs SG, Suiza), el alginato (AA) de Signa Chemical (St. Lous, EE.UU.), el alginato de sodio de Montreal (Córdoba, Argentina), la ciprofloxacina (CF) clorhidrato de Parafarm (Buenos Aires, Argentina).

La CF base libre se obtuvo por neutralización del clorhidrato con una solución de NaOH 0.1N. La CM en su forma ácido se obtuvo agregando solución 0.1 M de HCl a una solución acuosa de NaCM al 3.6% hasta alcanzar pH 2.

Los demás reactivos empleados fueron de grado analítico.

2.2 *Preparación de las formulaciones*

2.2.1 *Dispersiones sólidas (DSs)*

Para la preparación de las DSs fue utilizado el método de fusión, en el cual P407 fundido a 63ºC fue cargado con BZL, mediante agitación, para alcanzar un 32% p/p (DS1) de este en la formulación. Luego la mezcla fue enfriada rápidamente con nitrógeno líquido, pulverizado y tamizado. Para el ensayo de liberación se empleó la fracción de tamaño de partículas entre 210 y 420 nm.

2.2.2 *Membranas*

Se disolvió PHB en cloroformo a 60ºC en una proporción 6% p/v por 4 h bajo reflujo. Para carga de las membranas con DEX, esta fue añadida a la solución

por dispersión directa con una relación w/w de 6% (DX1), 17% (DX2), 21% (DX3), 25% (DX4), and 29% (DX5), con respecto al peso de PHB, agitando constantemente a temperatura ambiente. Para formar la membrana se tomaron 15 ml de solución y fueron colocados en una placa de Petri para dejar evaporar el solvente a temperatura ambiente durante 24 h.

2.2.3 *Hidrogeles*

Para la preparación de los hidrogeles se adaptó el método en frío. Tanto el P407 como el P188 fueron disueltos en agua a 4ºC con agitación. Para la carga de IVM, la cantidad necesaria del fármaco fue primeramente disuelto en etanol 96% y luego agregado a la solución de polímeros mediante agitación a 4ºC, debido a su baja solubilidad en agua. Con esto se obtuvieron hidrogeles con una concentración de IVM de 0.5 (HG1), 1,0 (HG2) y 1.5 (HG3) % w/w.

2.2.4 *Sistemas Dome Matrix*

Se prepararon 5 tipos de módulos de acuerdo a la relación entre HPMC25 y HPMC120 en su composición, conteniendo 0% (DM1), 25% (DM2), 50% (DM3), 75% (DM4) y 100% (DM5) de HPMC120. La HPMC, lactosa, PEG y Kollidon®, fueron molidos en un mortero y tamizados con una malla de 125 µm para luego pasar a un mezclador Turbula (WAB, Suiza) por 30 min, luego se agregó el estearato de magnesio y se continuó mezclando por 5 min más. Las matrices fueron obtenidas por compresión directa de los materiales en una prensa que posee dos punzones especiales de 7.4 mm, el superior con una superficie convexa mientras que la inferior es cóncava.
El peso de los módulos finales fue de 10±5 mg con un contenido de riboflavina de 10 mg.
Una vez producidos los módulos estos se apilaron en 2 tipos de configuración. En la configuración hueca las bases cóncavas estaban enfrentadas, lo que le permitía contener aire en su interior y aumentar su flotabilidad. En la configuración apilada esto no ocurría ya que la base convexa de un módulo se unía con la base cóncava del siguiente.

2.2.5 *Matrices Hinchables Polielectrolito-Fármaco (MHPF)*

Se obtuvieron complejos de los polielectrolítos (PE) por neutralización parcial (50%) con CF.
La mezcla se realizó en un mortero, en una proporción tal que la CF neutralice la mitad de los grupos ácidos del PE. Luego a la mezcla AA-CF se le adicionó una solución acuosa de etanol de 50%v/v suficiente como para humedecer la mezcla, mientras que con la mezcla CM-CF eso se realizó con agua. Ambos productos se dejaron secar hasta peso constante.

Las MHPFs fueron obtenidas por compresión de los complejos anteriores con sus correspondientes PE sódicos en diferentes proporciones (1:1, 1:2 y 1:3).

2.3 *Ensayos de liberación*

Los datos obtenidos en los diferentes ensayos de liberación fueron analizados mediante el modelo de segundo orden Lumped, desarrollado y validado por nuestro grupo de investigación. Fueron calculados diferentes parámetros correspondientes a cada sistema, además de parámetros farmacéuticos.

1.1.1. Dispersiones sólidas

Para los ensayos de liberación a partir de las dispersiones sólidas se utilizó un disolutor USPXXIV. Como medio de disolución se emplearon 900 ml de una solución de HCl 0.1N. El ensayo se realizó a 37 ± 0.5 ºC y una velocidad de agitación de 50 rpm. A intervalos preestablecidos se tomó una muestra de 4 ml para luego reponer con el mismo volumen de medio fresco. Las muestras fueron diluidas para luego ser analizadas mediante espectrofotometría UV-visible a 324 nm. Las medidas fueron realizadas por triplicado.

1.1.2. Membranas

Para el ensayo se utilizó un cuadrado de membrana de 1 cm^2 (1 x 1 cm) cargadas con diferente cantidad de DEX. Estas fueron inmersas en 3 ml de solución salina contenida en un recipiente a 37 ºC y una agitación de 90 rpm por 41 días. A intervalos definidos todo el medio fue removido y reemplazado por medio fresco. La cuantificación de DEX fue realizada por espectrofotometría a 244 nm. Todos los ensayos fueron realizados por triplicado.

1.1.3. Hidrogeles

Para el ensayo de liberación de IVM desde hidrogeles se utilizó una celda horizontal con un compartimiento donante donde se colocó 1 ml de hidrogel, y un receptor de 4 ml en el cual se colocaron 2 ml de solución salina. Los compartimientos fueron separados por una membrana de diálisis de celulosa. Cada cierto intervalo de tiempo la solución salina fue removida para cuantificar la cantidad de IVM liberada, y reemplazada con solución fresca. La concentración de IVM fue determinado mediante espectroscopía UV-Visible a 246 nm. Los ensayos fueron realizados por cuadruplicado.

1.1.4. Sistemas Dome Matrix

Para el ensayo de liberación de la RB se empleó un disolutor USP (Erweka DT6R, Alemania), utilizando como medio 900 ml de fluido gástrico simulado sin pepsina a 37.0±0.5°C con una agitación de 75±1

rpm. La cantidad de RB liberada se cuantificó por espectrofotometría a 267 nm.

1.1.5. MHPF

La liberación de CF se realizó en un disolutor USP (Hanson Res., EE.UU.) a 37.0 ± 0.5 °C con agitación (50 rpm), el medio de liberación consistió en 900 ml de fluido gástrico simulado sin pepsina. Para evitar la adhesión de las matrices a las paredes del recipiente las muestras se colocaron en canastillas con un tamaño de malla 40.
Cada cierto tiempo se tomaron muestras de 5 ml para determinar la cantidad de CF mediante espectrofotometría a 276 nm. El volumen de muestra fue repuesto con medio fresco.

2.4 *Análisis estadístico*

Para realizar las regresiones y el análisis matemático de los datos se utilizó el software Polymath 6.0.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos obtenidos en los ensayos de liberación fueron ajustados utilizando el modelo Lumped, que considera una cinética de segundo orden y es representado por la ecuación (1).

$$M_{\%} = \frac{a \times t}{1 + b \times t} \quad (1)$$

Donde M_{∞} es el porcentaje acumulado de fármaco liberado a un determinado
tiempo t, mientras que a (%*min-1) y b (min-1) son parámetros del modelo.
A través de la ecuación (1) es posible calcular la velocidad inicial de disolución (VID) de la siguiente manera (Ec. 2)

$$VID = \left.\frac{dM_{\%}}{dt}\right|_{t=0} = a \quad (2)$$

Otros parámetros empleados para evaluar el comportamiento de las formulaciones farmacéuticas son la eficiencia de disolución (ED), el tiempo de disolución ($t_{x\%}$) y el tiempo medio de disolución (TMD). La ED está definida como el área debajo de la curva de disolución par un dado tiempo t_F, y es representado como un porcentaje de del área rectangular suponiendo 100% de liberación hasta el tiempo t_F (Ec. 3)

$$ED = \frac{\int_0^{t_F} X\%\, dt}{100 \times t_F} \times 100 \quad (3)$$

A partir de la cual, considerando la ecuación 1, queda de la siguiente manera:

$$ED = \left(\frac{a}{b^2}\right) \frac{[b \times t_F - \ln(1 + b \times t_F)]}{100 \times t_F} \times 100 \quad (4)$$

El parámetro $t_{x\%}$ indica la cantidad de tiempo necesario para alcanzar un porcentaje x% de liberación, es calculado con la Ecuación 5:

$$t_{x\%} = \frac{x\%}{a - b \times x\%} \quad (5)$$

En el caso de TMD, este se calcula como:

$$TMD_{x\%} = \frac{\sum_{j=1}^{n} t_{jm} \times \Delta M\%}{\sum_{j=1}^{n} \Delta M\%} \quad (6)$$

Donde $t_{jm} = (t_j + t_{j-1})/2$ es el punto medio entredós muestras y ΔM% es la cantidad adicional de fármaco liberado entre t_j y t_{j-1}.
Sin embargo, al contar con un modelo que describe satisfactoriamente los datos experimentales, el $TMD_{x\%}$ puede calcularse como

$$TMD_{x\%} = \frac{\int_0^{M\%_j} t \times dM\%_j}{\int_0^{M\%_j} dM\%_j} \quad (7)$$

Y teniendo en cuenta la ecuación 1 se tiene:

$$TMD_{x\%} = \frac{a}{b^2} \frac{\left[\ln(1 + b \times t_{x\%}) - \frac{b \times t_{x\%}}{1 + b \times t_{x\%}}\right]}{M\%(t_{x\%})} \quad (8)$$

Para los casos de films e hidrogeles el objetivo de estas formulaciones es lograr un efecto de liberación controlada en el tiempo, es decir lograr que el fármaco sea liberado durante un periodo de tiempo más prologado. A modo de ejemplo de este tipo de perfiles se muestra en la Fig.1 el perfil de liberación obtenido de BZL a partir de la DS1.

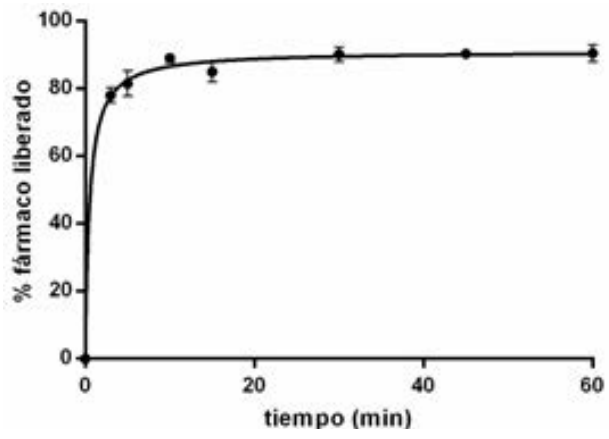


Figura 1. Perfil de disolución de BZL desde la DS1.

Mientras que en el caso de las DS el objetivo fue mejorar las propiedades del BZL en cuanto a su solubilidad y velocidad de disolución, por lo que se busca en este caso es una liberación lo más rápida posible.

Sin embargo, a pesar de los diferentes propósitos de las formulaciones, el modelo Lumped fue capaz de describir la curva de liberación en todo el rango de la liberación.

Para los films también se calculó el factor de diferencia (*f1*), el cual describe el error porcentual relativo entre dos perfiles de disolución, según la ecuación 9.

$$f_1 = \frac{\sum_1^n |R_i - D_i|}{\sum_1^n R_i} \times 100 \qquad (9)$$

Además, se calculó el factor de similitud (f2) definido según la ecuación (10).

$$f_2 = 50 \times \log\left\{\left[1 + \left(\frac{1}{n}\right)\sum_1^n (R_i - D_i)^2\right]^{-0.5} \times 100\right\} \qquad (10)$$

Dónde, en ambos casos, R_i y D_i son los porcentajes de droga disuelta a un tiempo i, respectivamente, y n es el número de muestras.

Según los criterios propuestos por la FDA, los perfiles de liberación de DEX de los diferentes Para los films resultaron ser similares, por lo que se tomaron los valores de los parámetros $TMD_{x\%}$, $t_{x\%}$ y DE similares. En la Tabla 1 pueden observarse los resultados obtenidos de los parámetros del modelo y parámetros de importancia farmacéutica anteriormente mencionados.

Tabla 1. Parámetros del modelo Lumped y parámetros farmacéuticos de las diferentes formulaciones basadas en hidrogeles, dispersión sólida y films. El $TMD_{x\%}$, $t_{x\%}$ y DE fueron calculados para x% = 16%, x = 16% y t_F = 180 min para hidrogeles; x% = 80% , x = 80% y t_F = 10 días para films, y x% = 75% , x = 80% y t_F = 30 min para la dispersión sólida.

Formulación	*a* (%*min^{-1})	*b* (min^{-1})	R^2	$TMD_{x\%}$ (min)	$t_{x\%}$ (min)	DE (%)
DX1	1.48×10^{-5}	1.31×10^{-4}	0.962	5142.0	20000	66.5
DX2	3.69×10^{-5}	2.53×10^{-4}	0.968	5142.0	20000	66.5
DX3	44.00×10^{-5}	2.41×10^{-4}	0.973	5142.0	20000	66.5
DX4	5.79×10^{-5}	1.98×10^{-4}	0.970	5142.0	20000	66.5
DX5	5.56×10^{-5}	1.61×10^{-4}	0.980	5142.0	20000	66.5
HG1	1.08×10^{-1}	1.08×10^{-2}	0.998	83.6	175	8.6
HG2	2.57×10^{-1}	2.57×10^{-2}	0.999	35.6	75	17.8
HG3	2.12×10^{-1}	2.00×10^{-2}	0.999	44.7	95	14.6
DS1	170.23	1.85	0.999	0.6	4	85.2

Como se observa el modelo posee un buen ajuste de los datos experimentales de los perfiles de liberación obtenidos en los casos anteriores, permitiendo calcular diferentes tipos de parámetros. Sin embargo para los casos de formulaciones Dome Matrix y MHPF (CM-CF), (CM-CF):NaCM 1:1; (CM-CF):NaCM 1:2, los perfiles de disolución presentaban una zona al inicio en la cual la velocidad de disolución aumentaba hasta llegar a un punto de inflexión, dándole a la curva una forma sigmoidea, esto puede observarse en la Fig.2.

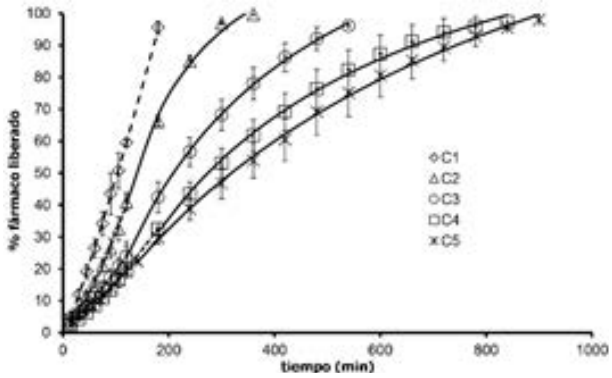


Figura 2 Perfiles de liberación de CF desde sistemas Dome Matrix en configuración simple.

En estos casos se utilizó el modelo denominado "dual release", aplicando en la primera parte una ecuación modificada basada en la propuesta por Korsmeyer-Peppas (Ec. 10) y en la segunda una forma modificada de la ecuación 1 (Ec. 11).

$$M_t\%_1 = c + d \times t^n \qquad (11)$$

Donde *c* (%), *d* (%*min^{-1}) y *n* son parámetros del modelo y t (min) el tiempo.

Donde *a* (%*min-1) y *b* (min-1) son parámetros del modelo y t_L el tiempo de retraso, calculado por extrapolación de la Ec. 12 cuando esta es igual a 0.

$$M_t\%_2 = \frac{a \times (t - t_L)}{1 + b \times (t - t_L)} \qquad (12)$$

También es posible calcular parámetros como la ED, tx%, TDMx%, sin embargo, se debe tener en cuenta si la curva posee un punto de inflexión.

Los resultados de los parámetros del modelo obtenidos para los sistemas Dome Matrix para las 3 conformaciones se encuentran en la Tabla 2.

Para las matrices MHPF también se calcularon los parámetros de este modelo, los cuales se muestran en

la Tabla 3.
En el caso de la Dome Matrix DM1, la ecuación 10 resultó válida para todo el rango de la curva por lo que el análisis se realizó de manera análoga, pero empleando solo esta expresión.
A partir de las ecuaciones del modelo también fue posible calcular los parámetros de relevancia farmacéutica, $TMD_{x\%}$, $t_{x\%}$ y DE para todas las formulaciones anteriores, recordando la presencia del punto de inflexión. El $TMD_{x\%}$, $t_{x\%}$, fueron calculados a x%=80%, x%=80%, respectivamente. Mientras que la DE fue calculada a t_F=180 min, excepto para C2, C3, C4, C5 para los cuales t_F=350 min. Estos resultados se encuentran en la Tabla 4.

Tabla 2. Parámetros del modelo dual release para los perfiles de disolución de sistemas Dome Matrix.

	Modelo de Korsmeyer-Peppas modificado				Modelo Lumped				
	c (%)	d (%*min^{-n})	*n*	R^2	*a* (%*min^{-1})	*b* (min^{-1})	t(min)	t_L (min)	R^2
Configuración simple									
C1	-0.672	0.25974	1.1375	0.9996	--	--	--	--	--
C2	2.2827	0.03057	1.4877	0.9982	1.23734	0.00876	120	75	0.9936
C3	1.0524	0.07848	1.185	0.9999	0.50186	0.00306	120	65	0.9994
C4	1.3972	0.02816	1.3502	0.9997	0.36761	0.00239	180	72	0.9971
C5	3.3304	0.03672	1.2643	0.9994	0.24068	0.00126	140	37	0.9982
Configuración hueca									
C1	-2.620	0.13082	1.1421	0.9985	--	--	--	--	--
C2	1.5773	0.033926	1.2476	0.9992	2.59601	0.02248	420	336	0.9901
C3	0.5711	0.03320	1.2610	0.9995	0.19968	0.00065	233	50	0.9940
C4	-0.228	0.04573	1.1696	0.9993	0.15168	0.00043	267	42	0.9985
C5	1.7399	0.02366	1.2306	0.9989	0.11354	0.00029	180	42	0.9973
Configuración apilada									
C1	-1.907	0.25817	1.0356	0.9994	--	--	--	--	--
C2	0.9904	0.04198	1.2073	0.9971	0.57202	0.00461	360	200	0.9983
C3	0.1708	0.03552	1.2254	0.9977	0.17296	0.00068	241	47	0.9972
C4	0.8731	0.01926	1.2738	0.9996	0.12463	0.00039	295	50	0.9994
C5	2.9303	0.04036	1.0999	0.9996	0.08550	0.00023	271	0	0.9999

Tabla3. Parámetros del modelo dual release para los perfiles de liberación de los sistemas MHPF.

	Modelo de Korsmeyer-Peppas modificado				Modelo Lumped				
MPEH	c (%)	d (%*min^{-n})	n	R^2	*a* (%*min^{-1})	*b* (min^{-1})	t_i (min)	t_L (min)	R^2
(CM-CF)	--	--	--	--	108.373	1.2642	--	0	0.999
(CM-CF):NaCM (1:1)	--	--	--	--	5.907	0.0607	--	0	0.992
(CM-CF):NaCM (1:2)	--	--	--	--	2.555	0.0265	--	0	0.992
(CM-CF):NaCM (1:3)	3.799	0.090	1.6004	0.999	2.256	0.0235	30	16	0.996
(AA-CF):NaAA	9.173	0.142	2.0762	0.998	35.971	0.4164	45	42	0.999
(AA-CF):NaAA (1:1)	2.572	0.736	1.1080	0.999	4.658	0.0494	45	20	0.999
(AA-CF):NaAA (1:2)	4.060	0.0290	1.84130	0.999	2.153	0.0200	45	20	0.999
(AA-CF):NaAA (1:3)	2.416	0.136	1.2030	0.999	0.639	0.00639	45	18	0.999

Tabla 4. Parámetros farmacéuticos de las formulaciones Dome Matrix y MPEH.

	$TMD_{x\%}$ (min)	$t_{x\%}$ (min)	DE (%)
DM configuración simple			
C1	81.4	154	43.8
C2	114.9	222	57.9
C3	178.3	377	39.4
C4	238.7	530	30.7
C5	266.3	608	27.9
DM configuración hueca			
C1	157.8	285	20.5
C2	239.3	437	27.6
C3	289.5	592	23.7
C4	352.5	725	19.6
C5	448.5	928	15.6
DM configuración apilada			
C1	134.9	260	20.5
C2	282.3	593	27.6
C3	340.0	724	23.7
C4	433.5	905	19.6
C5	545.3	1190	15.6
MPEH			
(CM-CF)	1.51	11.1	83.7
(CM-CF):NaCM (1:1)	18.1	76	75.3
(CM-CF):NaCM (1:2)	43.1	186	60.9
(CM-CF):NaCM (1:3)	63.2	230	52.4
(AA-CF):NaAA	35.1	72	66.2
(AA-CF):NaAA (1:1)	40.4	133	62.5
(AA-CF):NaAA (1:2)	59.4	165.5	53.6
(AA-CF):NaAA (1:3)	176.9	657	29.0

4. CONCLUSIONES

En el área de la tecnología farmacéutica es de gran importancia contar con modelos matemáticos sencillos que logren describir el comportamiento de las diferentes formulaciones. En este caso se analizaron diferentes aplicaciones del modelo Lumped, el cual logró ajustar los datos de las curvas de liberación de manera satisfactoria en los sistemas evaluados. Este modelo también permitió calcular parámetros valiosos para la evaluación de la eficacia de las diferentes formas de administración de los fármacos. Por otra parte, fue posible combinar este modelo con el modelo de Korsmeyer-Peppas, uno de los más empleados en el área, en aquellos casos donde se observa perfiles de tipo sigmoideo debido al hinchamiento de las matrices de liberación,. Esto nos permite deducir que se trata de un modelo simple, versátil y con la capacidad de poder combinarse con otros para adaptarse a los casos donde los perfiles sean más complejos, constituyendo una clara ventaja en la etapa de evaluación y optimización de formulaciones.

5. REFERENCIAS

Bermudez, J., Grau, R., Thermosensitive poloxamer-based injectables as controlled drug release platforms for veterinary use: Development and in-vitro evaluation, *International Research Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 1, 109-118, 2011.

Fernández-Colino, A., Bermudez, J.M., Arias, F.J., Quinteros, D., Gonzo, E., Development of a mechanism and an accurate and simple mathematical model for the description of drug release: Application to a relevant example of acetazolamide-controlled release from a bio-inspired elastin-based hydrogel, *Materials Science and Engineering: C*, 61, 286-292, 2016.

Higuchi, T., Rate of Release of Medicaments from Ointment Bases Containing Drugs in Suspension, *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 50, 874-875, 1961.

Korsmeyer, R.W., Gurny, R., Doelker, E., Buri, P., Peppas, N.A., Mechanisms of solute release from porous hydrophilic polymers, *International Journal of Pharmaceutics*, 15, 25-35, 1983.

Liu, C., Gong, C., Pan, Y., Zhang, Y., Wang, J., Huang, M., Wang, Y., Ke, W., Gou, M., Tu, M., Wei, Y., Qian, Z., Synthesis and characterization of a thermosensitive hydrogel based on biodegradable amphiphilic PCL-Pluronic (L35)-PCL block copolymers, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 302, 430-438, 2007.

Peppas, N.A., Narasimhan, B., Mathematical models in drug delivery: how modeling has shaped the way we design new drug delivery systems, *Journal of controlled release : official journal of the Controlled Release Society*, 190, 75-81, 2014.

Peppas, N.A., Sahlin, J.J., A simple equation for the description of solute release. III. Coupling of diffusion and relaxation, *International Journal of Pharmaceutics*, 57, 169-172, 1989.

Ritger, P.L., Peppas, N.A., A simple equation for description of solute release I. Fickian and non-fickian release from non-swellable devices in the form of slabs, spheres, cylinders or discs, *Journal of Controlled Release*, 5, 23-36, 1987.

Romero, A.I., Villegas, M., Cid, A.G., Parentis, M.L., Gonzo, E.E., Bermúdez, J.M., Validation of kinetic modeling of progesterone release from polymeric membranes, *Asian J Pharm Sci*, 13, 54-62, 2018.

Siepmann, J., Siepmann, F., Mathematical modeling of drug delivery, *International Journal of Pharmaceutics*, 364, 328-343, 2008.

Siepmann, J., Siepmann, F., Mathematical modeling of drug dissolution, *Int J Pharm*, 453, 12-24, 2013.

Artefactos que funcionan y simientes que no germinan: un ejercicio crítico sobre las soluciones a la escasez de agua en un paraje del NOA

Díaz, Juan P.[1, 2]

(1) Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero.
jpdiazart@yahoo.com
(2) Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero.

RESUMEN

¿Es posible que soluciones tecnológicas exitosas no se difundan en un territorio como vía de solución para problemáticas de antaño? Este trabajo pretende aportar una interpretación diferente de aquellas centradas en las falencias propias de las tecnologías a la hora de difundirse. Para ello se utiliza el abordaje de las tecnologías de inclusión social (TIS), mediante un estudio de caso centrado en la descripción e interpretación de las alianzas de actores construidas por un grupo de familias y otros actores sociales en el marco de un proyecto de desarrollo rural, su dinámica temporal a través de un estudio de trayectorias, las problemáticas percibidas por los grupos sociales relevantes y las diversas soluciones emergentes, hasta arribar a la solución estabilizada. Se concluye para el caso de estudio que pese a que la solución estabilizada (el artefacto) se mostró apropiada al paisaje social y geográfico local, tanto la mirada modernizante de intervención de las instituciones presentes, las alianzas socio técnicas que construyeron con los actores, como la fragmentación de la vida comunitaria en las últimas décadas, dificultan la transducción de la solución hacia un territorio más amplio.

ABSTRACT

Is it possible that successful technological solutions are not disseminated in a territory as a way of solving old problems? This work aims to provide a different interpretation from those focused on the defects of technologies during diffusion. For this, the approach of social inclusion technologies is used, through a case study focused on the description and interpretation of the alliances of actors built by a group of families and other social actors in the framework of a rural development project, their temporal dynamic using a study of trajectories, the problems perceived by the relevant social groups and the several emerging solutions, until reaching the stabilized solution. It is concluded for the case study that despite the stabilized solution (the artefact) was appropriate to the local social and geographical landscape, both the modernizing intervention approaches of the institutions present, the socio-technical alliances that they built with the actors, as well as the fragmentation of community life in recent decades make difficult to transduce the solution to a broader territory.

Palabras claves: tecnologías de inclusión social (TIS) - alianzas socio técnicas – artefactos

Keywords: social inclusion technologies - alliances of actors - artefacts

INTRODUCCION

Numerosos abordajes plantean que la problemática del cambio tecnológico en la ruralidad deriva de falencias intrínsecas de las tecnologías, desde su ineficacia para resolver los problemas o sus causas, hasta su lugar de génesis o su falta de adaptación a los contextos sociales y ambientales donde son puestas a prueba (Herrera, 1981; Willoughby, 1990; Cáceres, 1998; Cáceres et al., 1999; Cáceres, 2015).

Por el contrario, otros autores han puesto su mirada en la carencia de vinculaciones virtuosas entre los actores sociales a la hora de construir una institucionalidad sólida que permita generar transformaciones sustentables en los espacios rurales (Long y Villarreal, 1993, 1994; Guivant, 1997).

Tratando de apartarnos de una explicación restringida, nos preguntamos acerca de qué factores contextuales pueden incidir en la falta de difusión de tecnologías exitosas, y específicamente cómo inciden en ello las articulaciones institucionales.

Para ello, en este trabajo se analiza una experiencia de transformación socio-técnica que tuvo lugar en la comunidad de "La Guarida", paraje de una provincia norteña, durante la década de 2000. La problemática tiene como antecedentes la donación de 600 ha de una ONG a un grupo de 8 familias de tipo campesino, con el objetivo de que su traslado a las nuevas tierras, su radicación y su posterior uso productivo, sentara un precedente importante para una mejora de su calidad de vida.

Dicho proceso de radicación y uso sustentable dependía –entre otros factores relevantes- de la existencia de fuentes de agua en cantidad suficiente como para poder abastecer al ganado caprino y bovino de cada una de las familias una vez que se radicaran, sin lo cual el objetivo se vería seriamente comprometido. A partir de un proyecto financiado por el Plan Social Nacional ("PSN") y una agencia de cooperación, se disponen de los fondos para analizar diferentes alternativas tecnológicas.

Diferentes actores sociales participaron de este proceso, entre los que pueden nombrarse al grupo de familias de La Guarida, la ONG "Humanitas", el Plan Social Nacional (PSN), la municipalidad de San Carlos, el Empresa Tecnológica Nacional (ETN), la localidad de La Silla, la Universidad, otras ONGs, todos en diferentes niveles de relevancia, por lo que los denominamos "Grupos Sociales de Relevancia " o "GSR" (las instituciones se consideran actores sociales por separado unas de otras, dado que ejercen una acción territorial en determinado sentido más o menos acordado internamente).

La problemática de investigación se aborda desde el marco conceptual de las tecnologías para la inclusión social (TIS) (Pinch y Bijker, 1984; Thomas, 2009; Juárez y Avellaneda, 2011; Thomas et al., 2013; Jorge Sierra, 2015; Thomas, 2019) optando por un enfoque cualitativo mediante la construcción de un estudio de caso único (Neiman y Quaranta, 2006; Gurdián Fernández, 2007) seleccionado por un muestreo intencional no probabilístico. Así, se describe el proceso transitado por el grupo de familias de "La Guarida" y la red de relaciones que se establecieron en el tiempo con diversos actores, tratando así de comprender por qué la solución co-construída fue válida para la alianza socio-técnica concertada para un proyecto específico, y conjeturar sobre qué factores y relaciones de la misma serían deseables para que esta solución fuera transducida (difundida) en una región más amplia, con características históricas, ambientales y socio-culturales similares.

Para operacionalizar esta investigación, se siguió una secuencia metodológica en dos pasos: el primer paso destinado a conocer las relaciones entre los actores sociales de la alianza y la evolución en el tiempo de las mismas, como factores explicativos de la problemática de investigación. El segundo paso estuvo destinado a profundizar en la "relación problema/solución" a partir de las explicaciones que emergen del paso anterior.

Así, a partir de una perspectiva constructivista y relativista, se utilizaron los conceptos de "alianzas socio-técnicas" para analizar tanto "dinámica" como "trayectoria" de cada grupo social relevante "GSR", en un diagrama de secuencias temporales bi-etápico (antes y después del proyecto del PSN, en los ´90 y los 2000 respectivamente). Luego utilizamos un "modelo multidireccional de análisis" y el concepto de "flexibilidad interpretativa" para describir cómo se fue co-construyendo el problema y la solución de la alianza de actores, a partir de los "x" problemas y "x" soluciones percibidos y resignificados por cada GSRx. En todas las etapas se representaron los GSR mediante mapeos de actores sociales y luego se representaron gráficamente, además de los análisis textuales de naturaleza descriptiva y explicativa correspondientes (Pinch y Bijker, 1984; Thomas, 2009; Thomas et al., 2013; Thomas, 2019). Dada la perspectiva de investigación de este estudio, interesan las valoraciones subjetivas que construyen unos actores sobre otros más allá de si estas son objetivas

o rigurosas, dado que es bajo esta percepción de la realidad que se producen diferentes tipos de interacciones institucionales o sociales en el territorio, y en consecuencia sus intervenciones. Debido a que algunas expresiones podrían considerarse polémicas y desviar la atención del lector sobre los objetivos del trabajo, todos los nombres de instituciones, personas y lugares son de fantasía, salvo datos de los poceros, como una señal de reconocimiento a su labor.

Para ello, se recurrió a entrevistas semiestructuradas (ver guión en el ANEXO) a informantes calificados y a informes de la ONG, fotos, cuadernos de campo, y publicaciones o manuscritos inéditos de experiencias. Los informantes clave fueron seleccionados debido a que pertenecían a la ONG que llevó a cabo el proyecto; además, por tener experiencia en proyectos con ETN, Universidad, PSN, instituciones técnicas provinciales, junto con una activa formación religiosa. La información de campo se dispuso en una matriz conceptual en cuyas filas se colocaron los GSR y en las columnas tanto categorías deductivas (tales como Alianzas Socio Técnicas; Flexibilidad Interpretativa) como dimensiones (Dinámica y Trayectoria de alianzas y sus subniveles de análisis; Tipos de relación entre actores y sus subniveles de análisis; Problemas Percibidos y Soluciones Propuestas). Posteriormente se realizó un análisis de contenido tradicional (sin software), cualitativo y de tipo directo o manifiesto (sentido literal de lo expresado) (Gómez Mendoza, 2016).

A continuación, se muestra parte de la información de campo recolectada y sistematizada, que describe cuál era la percepción de los técnicos de la ONG con la que leían el territorio, a sus instituciones, sus problemas y soluciones.

1. ALIANZAS SOCIOTÉCNICAS

Primer paso de la secuencia metodológica; alianzas socio-técnicas, dinámica y trayectoria.

Se representa una secuencia temporal bietápica (Ver Figs. 1 y 2), donde se describen los actores, las relaciones entre los actores, ideologías de intervención y sus transformaciones temporales. Por cuestiones de extensión, sólo mostramos algunas a manera de ejemplo.

La Etapa I que comienza entre los años 1988-1990 (con la inserción de la ONG en el territorio provincial) y hasta el 2004 (previo al proyecto PSN).

La Etapa 2 comienza a partir de 2004, cuando comienza a debatirse y construirse la solución al problema socio técnico de la carencia de agua mediante tecnologías específicas.

Grupo La Guarida: son familias empobrecidas de tipo campesino, residen a unos 5 km del sitio del proyecto de radicación de la ONG; están fuertemente subordinadas al sistema clientelar de gobierno. Ex hacheros del obraje residual en la estructura agraria de la zona, no poseen tierras ni formas de trabajo monetizado seguras, crían cabras y realizan actividades forestales extractivas. Posteriormente un sacerdote local les dona tierras de su familia, en custodia de la ONG, con el cargo de "ser donadas para familias pobres que tengan ganas de vivir en ellas y trabajarlas" (el proyecto de radicación). Pero las tierras cuentan con el problema de la falta de agua.

Etapa 1: Se relacionan de manera subordinada y paternalista con la ONG e Iglesia (consideradas a pesar de ello como relaciones "virtuosas" por los informantes clave) y clientelarmente con el poder político del gobierno local (relación "conflictiva" pero que satisface materialmente la dura existencia a cambio de adhesiones partidarias). Mantienen relaciones virtuosas con otras comunidades extraprovinciales mediadas por la ONG (comercio alternativo mediante trueques de productos) y con las comunidades de la zona (vínculos mediados por la tarea evangelizadora de la Iglesia y los promotores de la ONG). Intensa vida comunitaria entre y dentro de las comunidades (reuniones periódicas festivas, recreativas, autogestivas, religiosas, políticas, etc.).

Etapa 2: siguen subordinados a la ONG, la Iglesia y el poder político local, pero con una relación más horizontal con la ONG. La vida comunitaria se ha ido fragmentando desde los ´90 (evidenciado por el deterioro de vínculos humanos dentro y entre comunidades, desaparición de espacios de encuentro, debilitamiento de líderes o referentes, mayor individualismo, proliferación de grupos antagónicos, etc.), por lo que ya no se vinculan internamente ni con otras comunidades con igual intensidad que antaño. La relación con la ONG es técnica con sus profesionales (ya no es evangelizadora con sus promotores de base). La Iglesia se retira un poco de la organización comunitaria, manteniendo celebraciones, servicios (bautismos, catequesis, comuniones etc.), y festividades patronales. El poder político municipal sigue generando cooptaciones, dividiéndolos como grupo y haciendo crecer sentimientos de individualismo vs. los comunitarios.

La ONG: proscriptas durante la dictadura de los años `70, fue conformada con el retorno de la democracia por ex miembros del clero, afines ideológicamente

con el movimiento de la Teología de la Liberación, con opción por los pobres. Financiada por agencias de cooperación internacional principalmente.

Etapa 1: Su vinculación con el estado es conflictiva, específicamente con ETN, universidades y los gobiernos provinciales y municipales, a quienes critica ideológicamente desde una mirada política crítica y de izquierda. Establece mayores vinculaciones con la iglesia provincial, articulándose fuertemente con las comunidades eclesiales de base (CEBs) cumpliendo una tarea social de servicio comunitario y evangelizadora con las localidades de la zona. No tiene profesionales sino promotores de las comunidades de base (son gente que vive en las comunidades). Fuertemente personalista y paternalista, con referentes que lideran la asociación civil y la vida comunitaria.

Etapa 2: a partir de una reforma institucional que la desangró, el carácter paternalista, personalista y religioso con promotores de base es sustituido por un enfoque profesionalista del desarrollo rural, técnico y participativo, con equipos territoriales, con enfoque más horizontal de trabajo. Se esfuerza por lograr que las comunidades desenvuelvan un espíritu proactivo. Se distancia de la Iglesia, aumenta su vínculo con el estado nacional, pero sin ser intenso o permanente (ETN, Universidad). Mantiene diferencias con el estado local. Se va distanciando de la vida local comunitaria. La perspectiva política de intervención continúa.

ETN: está fuertemente munida de una visión productivista de desarrollo rural: la tecnología moderna es la que produce –casi determinísticamente- el aumento de la calidad de vida de toda la población. Está formada por muchos posgraduados, muchos influenciados por el paradigma de la denominada *Revolución Verde*. Su sistema de extensión es en la mayoría de los casos de investigación y transferencia técnica de artefactos y prácticas modernas, recibiendo su financiación desde el estado nacional.

Etapa 1: tiene un vínculo vertical con los beneficiarios pero que mejora condiciones materiales de existencia, conflictivo con muchas ONGs, indiferente (no antagónico) con las CEBs e iglesia. ETN no participa de reclamos por la regularización de la tenencia de la tierra, se muestra "neutral" y reacia a asumir compromisos políticos y sociales que excedan su gestión técnica. A diferencia de la ONG, políticamente la ETN –antagoniza con el estado clientelar provincial y municipal con una visión política "de centro, conservadora o por derecha".

Etapa 2: la ETN incorpora técnicos de otras profesiones diferentes de las ciencias agrarias a nivel nacional, entre ellos a ex miembros de ONGs. Esto horizontaliza su intervención territorial. Aumenta la articulación con otras instituciones pero siempre con fuerte protagonismo técnico. Políticamente se vuelve una institución con más involucramiento en problemáticas sociales, sin perder su experticia tecnológica. En consecuencia, hay una relación institucional de indiferencia o de moderada tensión con la ONG en la etapa de construir el pozo calzado; la ETN tiene una postura crítica del poder local; se vincula con la iglesia y parroquia local de manera virtuosa.

La Iglesia: con diversas modalidades o estilos personalistas, diferentes monseñores se suceden con gestiones favorables a la tarea de las CEBs y la ONG.

Etapa 1: sobre todo los últimos dos obispos, entre 1994 y 2005, son firmes aliados a la ONG en la crítica al poder político local; se involucran en el reclamo de reivindicación de las comunidades por sus derechos sobre tierra, agua y monte; se comprometen en la búsqueda de soluciones al problema del agua de las comunidades, articulando como aliados con las comunidades, instituciones técnicas y la ONG.

Etapa 2: se distancian de la acción de la ONG por estilos de trabajo diferentes con los párrocos y obispos locales. Sobre todo, después de la designación de Monseñor Aguirre, en 2006, de visión política más conservadora y fuertemente asistencialista. Pese a que algunos párrocos locales continúan con fuerte compromiso social y político con las comunidades de antaño, mostrando cierta fragmentación con la jerarquía local, la vinculación de la ONG con el cura de la zona se debilita respecto de antaño, por múltiples disputas en las comunidades.

La Silla: es la comunidad más cercana a la de La Guarida y también la más poblada y semiurbanizada de la zona. Organizativamente heterogénea: presenta una comisión municipal para las gestiones administrativas, una agrupación local de un movimiento campesino provincial para el tema de tierras, las CEBs para la iglesia y la ONG; una comisión del pozo para los temas hídricos e intermediario con la Dirección de Recursos Hídricos, más grupos de ETN que trabajan en temas productivos e hídricos.

Etapa 1: tienen vinculaciones intensas con La Guarida a través de las CEBs y la parroquia de San Carlos, la ONG, ETN y la actividad clientelar del estado local, que domina la vida política comunitaria y el flujo de los recursos.

Etapa 2: mantienen sus relaciones con todos y con las mismas características. El rasgo fundamental es la

fragmentación de la vida comunitaria y las múltiples actividades rurales agrícolas y no agrícolas. Sigue subordinada al poder político local.
Otras ONGs: se refiere al permanente apoyo técnico y organizativo de ONGs afines, sobre todo ONG INCU que fue su gestora en la década del '80, comparten una visión ideológica similar desde la Teología de la Liberación.
Etapa 1: fuertes vinculaciones y asesoramientos a Humanitas.
Etapa 2: se alejan más y sólo hay consultas puntuales como asesoramientos técnicos eventuales.
Especialistas en artefactos: aparecen en la Etapa 2, como un conjunto de personas físicas o jurídicas. Son especialistas dedicados al rubro de la construcción y/o reparación de pozos calzados y perforaciones, Son poceros locales; poceros de Chaco; poceros del norte provincial; perforistas; empresas constructoras y reparadoras de pozos. Algunos poseen conocimientos campesinos tradicionales (poceros locales y del N provincial), otros modernos (perforistas y empresas), y otros trabajan combinando conocimientos campesinos tradicionales con modernos en los artefactos que diseñan y construyen (poceros de Chaco). Su presencia es positiva y a través de la ONG.
Universidad: aparece en la Etapa 2. Su modelo de intervención político, aunque pretende ser neutral, es modernizante, vertical y tecnocrático. Interviene puntualmente con asesoramientos de hidrología subterránea a través de la ONG para el proyecto PSN para la construcción del artefacto final.
PSN: pese a ser creado en 1993, recién aparece en la zona durante la Etapa 2. Su estructura es grande y formada por un cuerpo heterogéneo de profesionales: ingenieros agrónomos y forestales, licenciados en sociología y trabajadores sociales, incluso incorpora técnicos promotores rurales sin estudios universitarios. En su estructura directiva incorpora a referentes de las comunidades, Busca enmarcar a los técnicos de terreno en lo administrativo, aunque en lo político y técnico les da mucha libertad ideológica y conceptual. Su relación con las ONGs es tensa pero contributiva, particularmente con Humanitas con quien existen tensiones que actúan como prejuicios tanto sobre la capacidad organizativa de la comunidad en cuestión como sobre la seriedad de la ONG. Con la ETN tienen su vinculación tensa o neutral, pero articulan. No se vincula con la Iglesia más que desde lo estrictamente formal para lograr insertarse a sus comunidades. Su contribución a las mismas es materialmente efectiva y favorable, a través de microcréditos y subsidios para inversión.

3. RESIGNIFICACIÓN DE PROBLEMAS Y SOLUCIONES

Segundo paso de la secuencia metodológica: análisis multidireccional de problemas y soluciones.

Entendemos la flexibilidad interpretativa como la resignificación (dar otro significado a un fenómeno de la realidad) que cada GSR genera del problema, construyendo su propia interpretación del mismo, con lo cual pueden elaborar a su vez, sus propias soluciones, y esto plasmarse (no necesariamente de manera armoniosa) en la solución estabilizada, que es la solución final de nuestro proyecto.
A continuación, representamos de manera conjunta los problemas y soluciones resignificadas por cada GSR (ver Fig. 5 en ANEXO).
La ONG: Problema 1: trabaja desde una perspectiva ideológica alentando prácticas sociotécnicas y artefactos afines al marco conceptual de las Tecnologías Socialmente Apropiadas (TSA) y la Agroecología (AE). Es el tenedor transitorio de las tierras del proyecto de radicación y está a cargo de la asistencia técnica del proyecto PSN. Se siente muy comprometida en brindar una solución sustentable al proceso de radicación de las ocho familias. Percibe que el grupo de La Guarida no está maduro como para mantener inversiones tecnológicas complejas en el tiempo.
Solución 1: Por lo tanto, se esfuerza por rescatar artefactos y prácticas tradicionales y adaptarlas a tiempos modernos, como el viejo pozo calzado derrumbado de 80 m que usaban en el predio los antiguos moradores, con un sistema de "biombo o malacate de dos baldes y tracción a sangre" para la polea del balde volcador. Algunos de sus técnicos cuentan con experiencia en perforaciones y esto origina disputas internas (decidir entre pozo o perforación), sobre todo luego de que los especialistas desaconsejan la reparación del viejo pozo calzado por riesgoso y sugieren cavar uno nuevo hasta 60 u 80 m, lo cual también es peligroso. Alienta luego de ver costos y ventajas y desventajas de pozo vs. perforación, la contratación de campesinos idóneos externos para construir un pozo nuevo, mediante contrato tercerizando los riesgos. No permite que los viejos hombres del grupo La Guarida se arriesguen a excavar dado que esta es su propuesta (de jóvenes cavaron pozos poco profundos).
ETN: Problema 2: La ETN percibe los problemas

como deficiencias técnicas en la formación de los campesinos, es decir, no profundiza en el uso de sus tecnologías tradicionales, buscando modernizarlas por ej. realiza perforaciones o módulos de agua.
Solución 2: en la zona, cuenta con la experiencia en los principios de los ´90 de haber manejado un proyecto de Fortalecimiento de la Sociedad Civil para distribución domiciliaria a partir del pozo calzado de la localidad de La Silla. En esta época sus técnicos están abocados a proponer perforaciones y módulos de agua -con perforaciones o represas- que mediante molino elevan a tanques australianos. No rescatan en general saberes ancestrales o artefactos tradicionales.

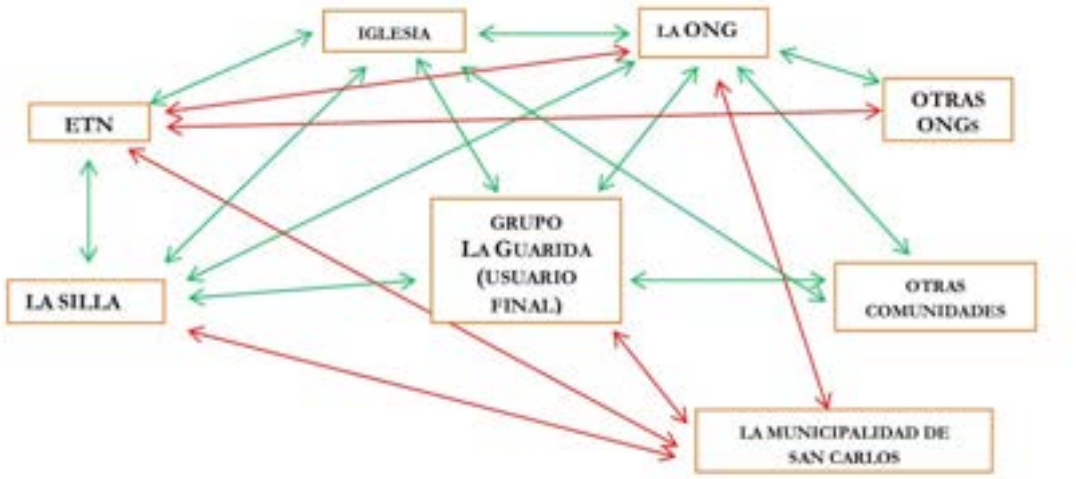


Figura 1: Etapa 1: antes del proyecto PSN, mapeo de GSRs en los ’90. (Las flechas indican una valoración de la relación entre GSRs según una escala cromática “tipo semáforo”. Referencias: rojo= relación conflictiva; amarillo=relación neutral o indiferente; verde=relación de alianza; sin color= no relevada o desconocida por el informante). Fuente: elaboración propia.

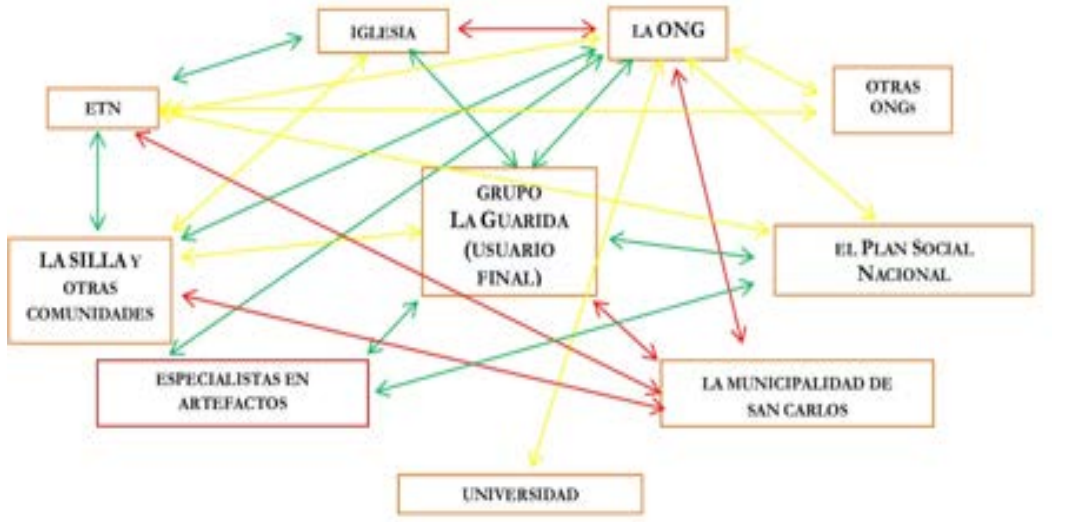


Figura 2: Etapa 2: después del proyecto PSN, mapeo de GSRs en los 2000. (Las flechas indican una valoración de la relación entre GSRs según una escala cromática “tipo semáforo”. Referencias: rojo= relación conflictiva; amarillo=relación neutral o indiferente; verde=relación de alianza; sin color= no relevada o desconocida por el informante). Fuente: elaboración propia.

Sin embargo, fue crucial la labor de uno de sus técnicos que dio las referencias del pocero chaqueño que finalmente construyó el pozo calzado.
Grupo La Guarida: Problema 3: según los testimonios recolectados durante la investigación, las familias del grupo, al igual que muchas familias del secano provincial, perciben en el agua un problema histórico y ancestral, lo han sufrido desde niños y por

generaciones, y esto los hace propensos a las redes clientelares de distribución de agua.

Solución 3: asociado con lo anterior, ellos no concebirían soluciones socio técnicas innovadoras radicales; resuelven con lo que conocen: comprar el agua a particulares cuando se acaba la de la represa y pozo comunitarios en los inviernos, u obtenerla gratis a cambio de adhesiones partidarias; gestionar construcción y desbarre de represas y viejos pozos calzados de poca profundidad (el conocimiento para construirlos se ha ido perdiendo) y realizar perforaciones, más sus adaptaciones. El grupo, liderado por hombres de más de 50 y 60 años ya, prefiere la practicidad de construcción y bombeo de la perforación; como en su juventud fueron constructores y "desbarradores" de sus propios pozos calzados, en caso de optarse por construir un nuevo pozo calzado con el proyecto, ellos mismos se ofrecen a cavarlo y calzarlo, a la vez que capitalizarían los fondos PSN para su propio usufructo.

La Silla: Problema 4: su pozo calzado no supera los 20 m de profundidad. Cavado por los habitantes originarios hace varios siglos al pie del cerro, de excelente calidad de agua, La Silla siempre dependió del poder político provincial y local, de la ETN o la Iglesia para solucionar los problemas. Viven su realidad con resignación a la espera de soluciones más bien exógenas, pero saben cómo, dónde y a quienes pedir colaboración, es decir, gran manejo de información y capacidad de gestión.

Solución 4: sirvió durante el proceso sólo como referencia, para los especialistas que visitaron La Guarida (por ejemplo, para estudiar la continuidad geológica subterránea), y por el trabajo de un reglamento comunitario de administración del agua de distribución doméstica.

Especialistas en artefactos: Problema 5: Son un conjunto muy heterogéneo de personas físicas o jurídicas, campesinos humildes del monte provincial que cavan y calzan; pueblerinos chaqueños ex campesinos que cavan y calzan y practican la rabdomancia o radiestesia; perforistas con máquinas perforadoras de clase media de una ciudad del interior provincial; empresa que reconstruye pozos calzados derrumbados con anillos de gran diámetro de hormigón armado. El principal problema es saber si hay agua de calidad en profundidad para ellos, y llegar a la zona a ver si conviene o no reparar el pozo derrumbado o hacer uno nuevo.

Solución 5: En general, una vez in situ, coinciden en el riesgo de reparar el viejo pozo derrumbado y en la conveniencia de cavar uno nuevo. El rabdomante dice que en proximidades del pozo derrumbado hay agua. Los demás usan un informe de la universidad o la presencia del viejo pozo como indicador de la presencia de agua.

Universidad: Problema 6: para esta institución el problema es estrictamente técnico y radica en cómo obtener en la zona cantidad y calidad de agua para bebida animal, dado que los acuíferos, si es que los hubiere, son de escasa conductividad hidráulica, de naturaleza loéssica y calcárea con toscas, y de mala calidad por presencia de exceso de sales disueltas.

Solución 6: Se realiza con la cátedra de Hidrología, una prospección geoeléctrica encargada por los técnicos de la ONG, que arroja presencia de muy buena calidad de agua entre los 40 y 60 m de profundidad. Sin embargo, se encuentra en una matriz porosa muy fina que dificultaría las recargas de una perforación, por lo que se sugiere realizar perforación piloto de exploración y ver así como dimensionar una perforación definitiva, para bombeo con bombas electro sumergibles.

Municipalidad de San Carlos: Problema 7: como parte del estado provincial, percibe el problema del agua como ambiental y a los beneficiarios como gente poco capaz de solucionar el problema del agua a la que hay que ayudar a cambio de adhesión política. Desconoce su responsabilidad histórica y estructural en la construcción de la problemática.

Solución 7: provee el servicio de agua en camiones tanque para llenar piletas en contraprestación a un pago del servicio de acarreo o la entrega gratuitamente a sus adherentes (clientelarmente). Desbarra con rastras las represas antes de las lluvias. Su solución consiste en proveer el servicio de tanques para llenado de aljibes o calicantos, lo cual resulta totalmente insuficiente para bebida animal y para el proyecto de radicación de la ONG y las ocho familias.

PSN: Problema 8: la ONG cuenta con técnicos que habiendo pertenecido en otro momento al PSN, hacen de puentes tanto con su experiencia en temas hídricos como en la gestión administrativa de los fondos. Se intuye que desconfían además de la viabilidad técnica del proyecto.

Solución 8: Financia un proyecto para cavado de un nuevo pozo y su asistencia técnica. Proponen el contacto con una comunidad del N provincial, donde hay un grupo PSN que re-calzó un viejo pozo de 40 m, y colocó una bomba sumergible, constituyendo un proceso de hibridación tecnológica. El programa suministra el nombre del técnico a cargo.

A partir del estudio multidireccional de análisis realizado y de explorar las diversas relaciones

problema/solución (ver Fig. 5), se pueden observar múltiples resignificaciones tecnológicas o la flexibilidad interpretativa de cada GSR, las que se pusieron en juego mediante acuerdos y tensiones que derivaron en la solución final estabilizada.

4. LA SOLUCIÓN ESTABILIZADA

Luego de varios análisis participativos de costos y viabilidad de pozo calzado vs. perforaciones, con la visita al predio problema de los especialistas en artefactos, de brindar sus opiniones y presupuestos financieros, y de casi un año de deliberaciones, los beneficiarios y la ONG (como tenedores transitorios de la tierra) decidieron cavar un nuevo pozo calzado en ladrillo de canto ("ladrillo espejo") a 8 m del anterior pozo derrumbado (calzado con quebracho colorado).

Para ello se organizaron viajes al N provincial (Grupo PSN Pozo Salado y el pocero Sr. Ignacio González) y al Chaco, pocero Sr. Olegario Espíndola, nacido en zona rural y migrado a Pampa del Infierno), para ver cómo eran los trabajos que estos poceros realizaron antaño. El grupo evaluó la calidad de la terminación de los artefactos y la capacidad empresarial de los poceros: les llamaba la atención su "presencia de patrón", dado que el otro pocero era trabajador *por cuenta propia*.

La construcción del pozo llevó tres meses, el agua finalmente se localizó a 55 m de profundidad con muy buena calidad; la gestión del grupo *in situ* logró negociar con los especialistas en artefactos "chuceadas" con lanzas hidrostáticas especiales desde el nuevo hasta el viejo pozo. Así aumentaron el caudal que es bajo por natura. El diseño del sistema de bombeo -por insistencia técnica de la ONG- permaneció tracción a sangre mediante polea y balde volcador hasta un calicanto lateral de 500 litros, para en el futuro conectarlo a bebederos y supeditado a colocar bomba electro sumergible algún día, según la organización autogestiva del grupo.

5. NUESTRA INTERPRETACIÓN DE LO OCURRIDO

La alianza socio técnica concertada en la Etapa 2 mostró una mayor heterogeneidad de componentes coordinados que en la Etapa 1 (nuevos actores e instituciones y sus transformaciones internas; en consecuencia, nuevas ideologías o visiones de intervención y ausencia de otras; viejos y nuevos artefactos coexistiendo, nuevos recursos económicos, nuevos procesos de circulación de conocimientos), misma concertación que explica "la idea de funcionamiento construida" sobre la solución definitiva (Thomas *et al*., 2019) (Ver Figs. 3 y 4).

Figura 3: Alianza Socio Técnica durante la Etapa 1. Fuente: elaboración propia

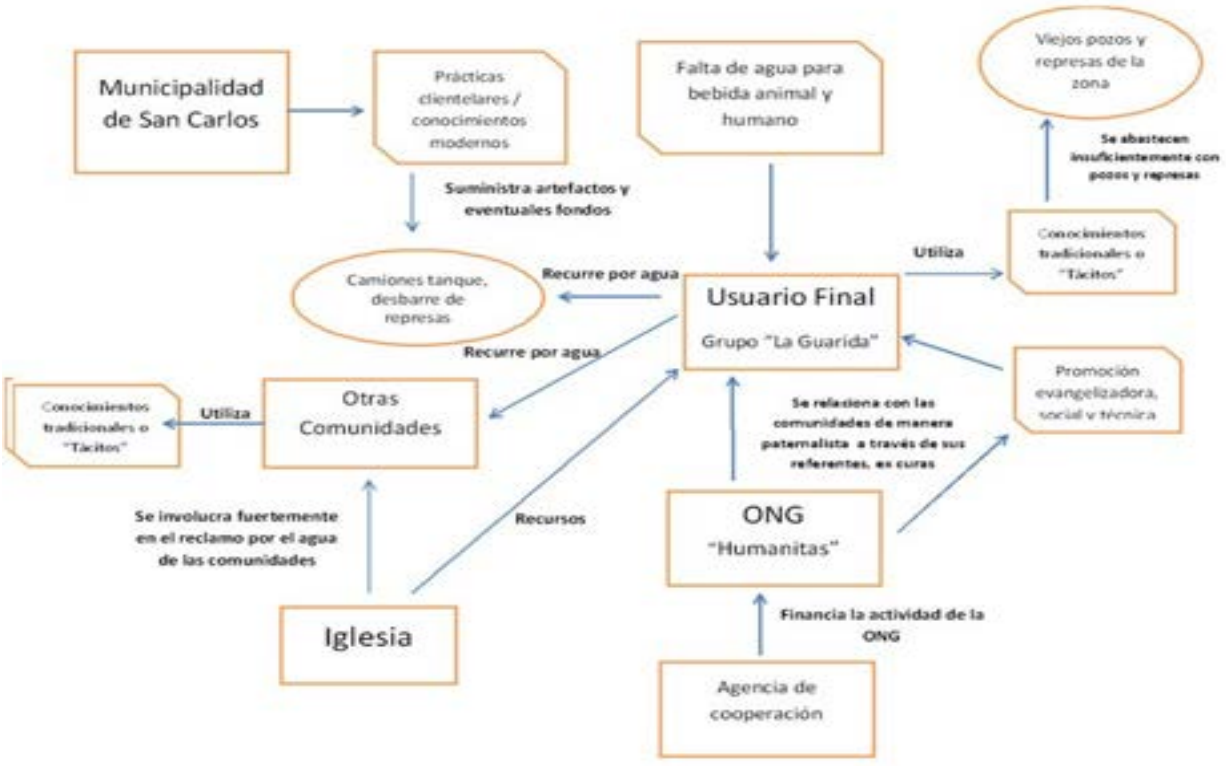


Figura 4: Alianza Socio Técnica durante la Etapa 2. Fuente: Elaboración propia

La solución definitiva fue fuertemente controlada por la ideología y la visión de intervención de la ONG Humanitas por sobre otras instituciones, con escasos y saludables momentos de decisión exclusivos del usuario final, caso de qué detalles observar en los trabajos de los poceros durante las visitas a sus lugares de origen, la decisión de contratación y las negociaciones para lograr aumentar el caudal con los mismos durante la construcción del pozo.

Esta heterogeneidad de componentes de la alianza socio técnica fue propiciada en parte por la propia heterogeneidad de los organismos estatales que intervienen en las márgenes del propio estado. En este sentido, es destacable para el autor la concertación alcanzada entre PSN, Universidad y ONG en la solución estabilizada (Das y Poole, 2008; Ramos Berrondo, 2020).

Sumando en esta concertación a los usuarios y a los especialistas en artefactos, se observa que se pusieron en juego diferentes tipos de actores y prácticas munidos de sus propios sistemas de conocimientos (Guivant, 1997; Thomas *et al.,* 2019).

En este sentido, la circulación y tipos de conocimientos que coinciden en un momento dado en el territorio son parte importante de la coordinación de una alianza socio técnica para resolver problemas.
Así, Oostinide y van Broekhuizen (2008) señalan que la cantidad de conocimientos de múltiples fuentes (tradicional, local, científico, etc.) presentes en un momento y lugar dados (o conocimiento "contextual") son proporcionales a las chances de lograr procesos de innovación endógena exitosos.

Los mismos pueden derivarse de cuatro procesos de aprendizaje colectivo que son conocidos como "socialización" (o intercambio entre individuos de los conocimientos "locales" precedentes en su intelecto); "externalización" (que transforma el conocimiento local en "científico" a través de su documentación o codificación, lo que permitirá su globalización); "recombinación" (de fragmentos de conocimiento local/científico para dar origen a nuevos conocimientos mediante uso de redes u otras conexiones) e "internalización" (los predios absorben conocimiento externo para transformarlo en conocimiento tácito).

Siguiendo a estos autores, detectamos que en la Etapa 2 hubo una mayor presencia de conocimiento contextual que en la Etapa 1 (tácitos –locales o tradicionales-, codificados –modernos o científicos-, y recombinado o híbrido).

Ahora bien, pese al funcionamiento de la solución final estabilizada, se observa que el artefacto no difundió a parajes cercanos, incluso sometidos a la misma presencia institucional y a los mismos equipos técnicos, lo que nos lleva a preguntarnos sobre posibles explicaciones de la falta de difusión de una solución exitosa.
Por un lado, hay una cuestión evidente: la ONG no volvió a presentar un proyecto PSN para realizar otros pozos similares, dado que no lleva a cabo otros proyectos de radicación similares. Sin embargo, los parajes aledaños cuentan con recursos materiales propios (ganaderos, forestales, artesanales) como para encarar la innovación de manera autónoma, y sin embargo siguen apelando a los camiones tanques de los municipios en los inviernos (durante el verano se abastecen de agua de lluvia en aljibes y represas).

En este punto, no pretendemos desconocer el significado profundo que las prácticas clientelares adquieren en las márgenes del estado. Un interesante trabajo de Javier Auyero (2002) sobre el clientelismo evidencia "la doble vida" de esta práctica social: el intercambio objetivo de ayudas materiales y favores a cambio de fidelidad partidaria vs. la negación colectiva del intercambio resignificada por los propios actores como una real cobertura de las necesidades de los clientes -que nadie más puede o suele cubrir-, y que genera fuertes vínculos humanos de afecto y solidaridad entre mediadores –punteros- y clientes hacia el interior de esta práctica social.

Sin embargo, y sin desconocer la relevancia que en la zona adquiere el "ser amigo" del político de turno para cubrir necesidades de diversa índole que trascienden lo hídrico, Humanitas autopercibía que su intervención es cualitativamente y moralmente superior al accionar de los políticos locales: mientras que el estado local separa "clientes propios y ajenos", la ONG pretende generar un desarrollo rural participativo y endógeno que involucra a toda la población de beneficiarios de proyectos, de manera no asistencialista, democrática y autogestionaria.

Como dijimos, en las márgenes del estado donde se desarrollan estos proyectos de desarrollo rural,

las representaciones sobre lo que es el estado y sus prácticas se presentan como interfaces indefinidas (Ramos Berrondo *et al.,* 2020) dando lugar a varias ideas de estado simultaneas, en cuyas "arenas" los usuarios suelen moverse estratégicamente y de manera selectiva.

En estas márgenes de limites indeterminados, parafraseando a Das y Poole (2008), el estado se percibe a veces con la idea de centro, poniendo a la población como margen a la que le es permitido atender o no en función de sus intereses (el gobierno clientelar), y otras veces el centro de esta relación percibida por el estado es la población que le delega el poder, corriéndose hacia los márgenes para gestionar necesidades de aquella (idea afín con la política de la ONG).

Así, y más allá de que la ONG pudiera recaer en prácticas similares a las que denuncia desde su discurso, es también cierto que ella se autopercibe con intereses irreconciliables con el poder local, por lo que la alianza socio técnica no se daría en otros parajes, y difícilmente en ausencia de esta ONG, el poder político local podría sustituirla para reconstruir alianzas similares.

Conjuntamente con la continuidad de un poder político local y de sus prácticas de antaño (y sus efectos directos sobre el desarrollo de capacidades autogestionarias y sobre los sentimientos de unidad), la reestructuración de la ONG en 1998 implicó un arribo de profesionales en los territorios y la retirada de los viejos promotores de base (pertenecientes a sectores populares urbanos y rurales). Además, durante la Etapa 2 la Iglesia local tuvo cambios de referentes y prácticas que conllevaron a un alejamiento de la ONG con la vida social y religiosa de las comunidades, que era una fortaleza en la organización de antaño (los nuevos profesionales ven un fuerte personalismo en la praxis de la Iglesia en tensión con la idea de ciudadanos autónomos).

Así, ahora se podía contar con soluciones técnicas muy creativas y eficientes, pero la circulación de la información entre usuarios finales se había deteriorado: ya no había tantos contactos periódicos entre y dentro de las comunidades donde se pudieran comentar estas novedades, proyectos, resultados, dificultades, etc. Los nuevos técnicos "ya no se quedaban a dormir en las casas de la gente cuando llegaba la noche, ni venían a compartir las festividades como antes".

Este deterioro de los vínculos comunitarios de antaño atentarían hasta hoy con los procesos de aprendizaje y circulación de conocimientos en las comunidades, especialmente con sus mecanismos de socialización (Oostinide y Broekhuizen, 2008), y pudieron dificultar la presencia de niveles críticos deseables de conocimiento contextual para difundir la experiencia o construir nuevas alianzas sociotécnicas que funcionen.

6. A MANERA DE CIERRE

Finalmente, para echar luz al problema de esta investigación, resaltamos que la solución tecnológica se muestra adecuada tanto para las características geológicas locales como para las falencias que presenta la vida organizativa del grupo La Guarida y sus disponibilidades de recursos, proponiéndose como una interesante experiencia sustentable que durará por años en la zona.

Este resultado fue posible por la concertación de una alianza socio técnica donde hubo múltiples actores y una circulación de conocimientos específica, y todo ello alentado por la coordinación de diversas formas concurrentes de un estado con límites difusos en prácticas e ideas.

Amén de la evidente indeterminación con que interviene el estado en proyectos de desarrollo rural, el paradigma de la modernización continúa dominando la escena institucional en la zona y las alianzas que se intentan concertar. Esto puede impedir arribar a y/o invisibilizar resultados tecnológicos como los de esta experiencia.

Por otra parte, es importante destacar que los estudios de caso único como los de esta investigación, presentan limitaciones a la hora de extrapolar conclusiones a otros contextos que a priori pudieran considerarse similares, por lo que pensamos en una posible transducción a usuarios finales sólo si estos actuaren influidos bajo la misma alianza y trayectoria socio técnica que la concertada con el grupo La Guarida o muy similar.

Tanto la ausencia de dichas alianzas socio técnicas como el debilitamiento de la vida comunitaria, creemos que son factores contextuales que imposibilitarían una adecuada transducción de la experiencia a una zona geográfica más amplia, más allá de que se la pueda considerar técnicamente exitosa *per se*.

"Cuál una simiente de calidad que no puede germinar

y desplegar todo su potencial por carencias del contexto"

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

Auyero, J. Clientelismo político en Argentina: doble vida y negación colectiva. *Perfiles Latinoamericanos*, 20:33-52. 2002. Recuperado de: http://politicayplanificacionsocial.sociales.uba.ar/wp-content/uploads/sites/190/2012/04/Auyero-J-2002-Clientelismo-pol%C3%ADtico-en-Argentina-doble-vida-y-negaci%C3%B3n-colectiva.pdf

Cáceres, D. Tecnología agropecuaria y agronegocios. La lógica subyacente del modelo tecnológico dominante. *Mundo Agrario,* 16 (31). Recuperado de *http://www.mundoagrario.unlp.edu.ar/article/view/MAv16n31a08*. 15.09.2015.

Cáceres, D. Tecnología Apropiada y Desarrollo Rural: Una Revisión Crítica. *Población & Sociedad*, 6 (7): 197-227. 1998.

Cáceres, D., Silvetti, F., Soto, G. & G. Ferrer. Las Representaciones Tecnológicas de Pequeños Productores Agropecuarios de Argentina Central. *Rev. de Desarrollo rural y Cooperativismo Agrario*, 3: 57-80. 1999.

Das, V. y Poole, D. El estado y sus márgenes. Etnografías comparadas. *Cuadernos de Antropología Social*, núm. 27: 19-52 Universidad de Buenos Aires Buenos Aires, Argentina. 2008. Recuperado de: https://www.redalyc.org/pdf/1809/180913917002.pdf.

García Canclini, N. *Culturas híbridas. (Editorial Grijalbo)*, D.F., México. 1990.

Gómez Mendoza, MA. Análisis de contenido cualitativo y cuantitativo: Definición, clasificación y metodología. *Revista de Ciencias Humanas*. 20:1-9. 2016.

Guivant, J. Heterogeneidade de Conhecimentos no Desenvolvimento Rural Sustentável. *Cadernos de Ciência e Tecnologia*, 3 (14): 411-448. 1997.

Gurdián Fernández, A. *El Paradigma Cualitativo en la Investigación Socio Educativa*. CECC-AECI, San José, Costa Rica, 265 pp. 2007.

Herrera, A. The generation of technologies in rural areas. *World Development*, 9: 21-35. 1981.

Jorge Sierra, E. Estudios de Ciencia Tecnología y Sociedad. Universidad de Alicante. Retrieved from: *https://sociotecno2.wordpress.com.10.08.*2015.

Juárez P. y N. Avellaneda. *Red de Tecnologías para la Inclusión Social. Construyendo conocimiento científico y tecnológico entre Estado, Universidades*, Cooperativas de Trabajo y OSC. XI Congreso Iberoamericano de Extensión Universitaria. Santa Fe, Argentina. 22 al 25 de noviembre de 2011.

Long, N. and M. Villarreal. *Exploring Development Interfaces: From the Transfer of Knowledge to the Transformation of Meaning. En: Beyond the Impasse. New Directions in Development Theory.* Schuurman F. J(ed.). Zed Press, London, pp.140-168. 1993.

Long, N. and M. Villarreal. *The interweaving of knowledge and power in development interfaces. En: Beyond Farmer First: rural people's knowledge, agricultural research and extension practice*. Sconnes I. y Thompsom J. (ed.). Intermediate Technology Publications, London, pp. 41-52. 1994.

Oostinide H. and Broekhuizen R. van. The dynamics of novelty production. Unfolding Webs: The Dynamics of Regional Rural Development. Van der Ploeg, JD & Marsden, T (eds). Royal Van Gorcum, Assen, pp. 68-86. 2008

Pinch, T and W. Bijker .*The Social Construction of Facts and Artefacts: or How the Sociology of Science and the Sociology of Technology might Benefit Each Othe*r. Social Studies of Science (SAGE, London, Beverly Hills and New Delhi), Vol. 14, 399-441. 1984.

Ramos Berrondo J., Berger M. y García A. Instrumentalización de proyectos de desarrollo rural: Experiencias en el nordeste argentino a principios del siglo XXI. *Revista Estado y Políticas Públicas* 14: 253-276. 2020.

Thomas, H. *"De las tecnologías apropiadas a las tecnologías sociales. conceptos/ estrategias/ diseños/ acciones"*, ponencia presentada en la 1ra Jornada sobre Tecnologías Sociales, Programa Consejo de la Demanda de Actores Sociales (PROCODAS)-MINCyT, Buenos Aires, 14 de mayo de 2009.

Thomas, H. *"Diseño de Sistemas Tecnológicos Sociales. Desarrollo inclusivo sustentable: problemas y soluciones"*. Curso de Posgrado: FAU-UNT. Octubre de 2019.

Thomas, H., Becerra, L. y A. Bidinost. ¿Cómo funcionan las tecnologías? Alianzas socio-técnicas y procesos de construcción de funcionamiento en el análisis histórico *Pasado Abierto. Revista del CEHis*. N° 10. 2019. Retrieved

from:
http://fh.mdp.edu.ar/revistas/index.php/pasadoabierto

Thomas, H., Fressoli, M., & A. Lalouf, Introducción. *In H. Thomas y A. Buch (Comp.). Actos, actores y artefactos: sociología de la tecnología*. (p. 9-17). Buenos Aires. 2013.

Willoughby, K. W. *Technology Choice. A Critique of the Appropriate Technology Movement.* Intermediate Techonology Publications, *L*ondon, UK, 350pp.1990.

ANEXO

El guión de las entrevistas a informantes clave giró en torno de los siguientes tópicos:

- Experiencia en la ONG del informante
- Modelo de intervención político de la ONG
- Organización en los territorios de intervención y gestión de recursos
- Cambios en la Institución a lo largo de su historia
- Actores sociales relevantes en el territorio de la experiencia (instituciones, organizaciones, grupos, empresas, etc.)
- Conocimiento de esos actores sociales y de sus prácticas y modalidades de intervención
- Tipos de actividades conjuntas y valoración de la interacción entre la ONG y esos actores, y de los actores entre sí
- Anécdotas o recuerdos de disputas, éxitos, sinergias de los actores con la ONG y entre ellos
- Transformaciones de los actores sociales en el tiempo
- Transformaciones de la interacción ONG/actores
- Transformaciones en la forma de vida de la zona desde la Inserción de la ONG
- Historia del grupo La Guarida y del proyecto PSN
- Soluciones hídricas antes del proyecto PSN
- Detalles y anécdotas del proceso de construcción del pozo del proyecto
- Soluciones propuestas por la ONG y los usuarios finales
- Soluciones propuestas por los otros actores sociales y opinión del proyecto
- Evaluación personal de la experiencia en términos técnicos, organizativos e institucionales

- (Otras preguntas, comentarios o reflexiones del entrevistado)



Figura 5: Análisis multidireccional: diferentes relaciones problema/solución que intervinieron en la construcción de una solución final estabilizada. Fuente: elaboración propia.

Co-inmovilización de α-amilasa y glucoamilasa en perlita expandida para su aplicación en la hidrólisis del almidón.

Rodríguez Zotelo, Juan J.[1]; Soria, Fernando.[1]

(1) Instituto de Investigaciones para la Industria Química, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Universidad Nacional de Salta (UNSA).
jrodriguez@unsa.edu.ar; fsoria@unsa.edu.ar

RESUMEN

La enzima α-amilasa *A. oryzae* y glucoamilasa *A. niger* fueron co-inmovilizadas covalentemente en perlita expandida para ser utilizadas en la hidrólisis de almidón. El pH óptimo, para las enzimas co-inmovilizadas, resulto entre 4 y 6 y la temperatura de máxima de actividad se determinó entre 60 ° C y 80 ° C.

La hidrolisis del almidón se efectuó por un procedimiento de dos etapas y una etapa. El porcentaje de conversión de almidón a glucosa durante el primer uso de las enzimas inmovilizadas para el proceso de una y dos etapas, para una concentración inicial de almidón de 60 mg mL^{-1}, resulto de 15,3% y 14,2% respectivamente. Se estudió también la reutilización del derivado inmovilizado y se determinó que se reducen los costos cuando la hidrolisis del almidón se realiza en una sola etapa. También se estudió la reutilización de las enzimas co-inmovilizadas. El presente trabajo se enmarca en el área de tecnologías básicas y aplicadas.

ABSTRACT

The enzyme α-amylase *A. oryzae* and glucoamylase *A. niger* were covalently co-immobilized in expanded perlite to be used in the hydrolysis of starch. The optimum pH, for the co-immobilized enzymes, was between 4 and 6 and the maximum activity temperature was determined between 60 ° C and 80 ° C.

The hydrolysis of the starch was carried out by a two-stage, one-stage procedure. The percentage of conversion of starch to glucose during the first use of the immobilized enzymes for the one and two-stage process, for an initial starch concentration of 60 mg mL-1, was 15.3% and 14.2% respectively. . The reuse of the immobilized derivative was also studied and it was determined that costs are reduced when the hydrolysis of starch is carried out in a single stage. The reuse of co-immobilized enzymes was also studied.

This work is framed in the area of basic and applied technologies.

Palabras claves: perlita – co-inmovilización- α-amilasa- glucoamilasa

Keywords: perlites- co- immobilised - α-amylase - glucoamylase

1. INTRODUCCION

La enzima glucoamilasa (α-1,4-glucano glucohidrolasa, EC 3.2.1.3) es una exoamilasa, también conocida como amiloglucosidasa, que cataliza la separación de la glucosa de los extremos no reductores en el almidón, así como en poli y oligosacáridos, Hiromi (1983). La enzima hidroliza los enlaces glicosídicos α-1,4 y α-1,6, Shenoy (1985). La glucoamilasa es una de las enzimas comercialmente más importantes en la fabricación de almidón, es producida naturalmente por varios hongos y levaduras. Entre los hongos, el más utilizado para la producción de la enzima ha sido Aspergillus niger. También se han utilizado bacterias (Lactobacillus brevis y Bacillus coagulans) y levaduras (Saccharomyces cerevisiae y Saccharomyces figuligera). Sin embargo, la baja producción de la enzima por estos microorganismos dificulta su aplicación comercial, Leadlay (1978).

La hidrólisis de almidón a glucosa requiere hidrolizado de dextrina, obtenido por la acción de la α-amilasa y la adición de glucoamilasa fúngica soluble; el producto resultante es un jarabe de glucosa, Soimachi K. (1997) y Norouzian D. (2006). La glucoamilasa utilizada de esta manera se desactiva después de la reacción y no se puede reutilizar.

Un factor que determina es uso de enzimas es su costo, esta desventaja puede ser superada inmovilizando las enzimas a un soporte organico o inorgánico permitiendo una posible reutilización.

La glucoamilasa inmovilizada se puede utilizar para tratar la dextrina de forma continua y producir glucosa, Tanriseven (2002). La glucoamilasa se ha inmovilizado en una variedad de soportes tales como sílice, Lee (1976), alginato, Roy (2004), membranas cerámicas, Ida (2000), polietilenimina, Souza (2002) y acrílico, Bryjak (2003).

La hidrólisis enzimática del almidón a escala industrial se realiza generalmente bajo un procedimiento de dos etapas. Durante la primera etapa, el almidón se hidroliza parcialmente mediante la acción de la α-amilasa. En la segunda etapa, a partir de la acción de la glucoamilasa, se obtiene: glucosa, maltosa y maltodextrinas, Tanriseven (2008), Buckow R. (2005). En la producción de glucosa por hidrólisis del almidón, una estrategia que puede reducir los costes es la inmovilización de las enzimas α-amilasa y glucoamilasa sobre el mismo soporte (co-inmovilización); por tanto, el proceso de hidrólisis del almidón se puede llevar a cabo en una etapa, Bryjak (2003), Trevan M. (1980), Park (2005), Jadhav (2013).

Los métodos de inmovilización propuestos en este artículo implican la unión covalente utilizando una preparación comercial de enzimas. Se estudia la aplicación de un derivado inmovilizado resultante de la co-inmovilización de glucoamilasa y α-amilasa, Park (2005).

Aun no se han reportado datos sobre co-inmovilización de α-amilasa *A. oryzae* y glucoamilasa *A. niger* sobre silicoaluminatos naturales, Manish (2018); Galvão (2020).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. *Materiales*

Perlita Expandida (Perlita Verde, Quebrada de Quirón-Dpto. De los Andes, proporcionada por la Compañía Perlita Salta). La glucoamilasa *A. niger*, α-amilasa *A. oryzae*, glutaraldehído (GA) 25%, y aminopropiltrietoxisilano (APTES) fueron de SIGMA (St. Louis, MO, EE. UU.). Almidón soluble de Mallinckrodt, ácido dinitrosalicílico (Morton Thiokol Inc - Alfa Catalog Chemicals). Dacron fue producido por Terphane S.A (Cabo, Brasil). El kit de enzima glucosa fue de Wiener Laboratory (Rosario, Argentina). Todos los demás reactivos fueron de calidad analítica.

3.2. *Preparación de soporte*

La preparación de perlita expandida (PE), funcionalización y activación de los soportes se realizó según el método descrito en Rodríguez (2014). A 0,1 g de cada uno de los soportes se le adicionaron 2 ml de APTES (10% en acetona) y se agitó por 2 horas a 20 ° C. Este se lavó con agua y buffer fosfato de sodio 20 mM, pH 5,5 y se secó a 50 °C durante 12 horas. Las partículas de soporte (30 mg) se incubaron con 1 ml de GA al 5% v / v en agua bajo agitación suave durante 2 horas a 25ºC. Posteriormente se lavaron cinco veces con buffer.

3.3. *Co-inmovilización de α-amilasa y glucoamilasa.*

Las enzimas α-amilasa y glucoamilasa se inmovilizaron conjuntamente en PE. Para estudiar la mejor situación referida a la cantidad de proteína y actividad fijada en los soportes activados, se añadió 1 mL de solución de enzima (α-amilasa + glucoamilasa) en buffer fosfato 20 mM y pH 5 en las siguientes concentraciones:

i) 11,005 µg de proteínas α-amilasa y 3,3230 µg de proteínas glucoamilasa mg^{-1} de soporte;

ii) 2,6090 µg de proteínas de α -amilasa y 10.924 µg de proteínas de glucoamilasa mg^{-1} de soporte;

iii) 5,6360 µg de proteínas de α-amilasa y 6,7820 µg de proteínas de glucoamilasa mg^{-1} de soporte.

Las muestras fueron incubadas durante 16 horas a 4 ° C y 20 rpm. Posteriormente los derivados inmovilizados se separaron por centrifugación a 6000 rpm y de los sobrenadantes se determinó

proteínas. Los soportes que contienen las enzimas co-inmovilizadas (α-amilasa + glucoamilasa) se lavaron cinco veces con 1 mL de buffer fosfato 20 mM y pH 5, y se almacenaron a 4 ° C para su posterior uso.

3.4. *Ensayo de actividad de α-amilasa y glucoamilasa co-inmovilizadas*.

Se utilizó el siguiente procedimiento: se añadieron 0,8 mL de sustrato 15 mg mL^{-1} (en buffer fosfato de sodio 20 mM, pH 5) a 30 mg de derivado inmovilizado. La mezcla se incubó a 50ºC durante 10 min y luego la enzima inmovilizada se separó de la mezcla de reacción.
Para determinar la actividad de la α-amilasa, se usó el método de DNS, Warwick (1982). La absorbancia se midió a 540 nm. La unidad de actividad catalítica katal (kat) se tomó como la cantidad de enzima que libera 1 mol de maltosa por segundo.
Para determinar la actividad glucoamilasa se siguió y controló el progreso de la reacción midiendo la cantidad de glucosa producida, según el método enzimático para la determinación de glucosa (Wiener Laboratories). Se tomó una alícuota de 20 µl de la mezcla de reacción y se agregaron 2 mL de reactivo de trabajo (método GOD / POD). Se incubó durante diez min a 37 ° C y luego se midió la absorbancia a 505 nm. La unidad de actividad catalítica katal (kat) se tomó como la cantidad de enzima que libera 1 mol de glucosa por segundo.

3.5. *Efecto del pH y la temperatura sobre la actividad enzimática.*

El pH óptimo de los derivados inmovilizados se determinó a valores de pH entre 2,0 y 8,4 usando buffer Na_2HPO_4 / ácido cítrico (buffer McIlvaine) a 50 ° C. La temperatura máxima de actividad para los derivados inmovilizados se determinó midiendo la actividad en buffer Na_2HPO_4 / ácido cítrico a diferentes temperaturas en el rango de 30 ° C a 80 ° C.

3.6. *Hidrólisis de almidón.*

3.6.1. Hidrólisis enzimática del almidón

Para estimar el porcentaje de conversión de almidón en azúcares reductores (1ª etapa) y glucosa (2ª etapa), se realizó un ensayo de hidrólisis enzimática con una solución que contenía α-amilasa y glucoamilasa libre. Se siguió el siguiente procedimiento: se agregaron 0,3 mL^{-1} de solución de enzima (α-amilasa 782,7 µg y glucoamilasa 3277 µg mL^{-1}) a 4,7 mL de solución de almidón en concentraciones de 21, 43 y 64 mg mL^{-1} en buffer fosfato de sodio 20 mM, pH 5. Se incubó durante 1 hora a 50 ° C y en diferentes tiempos (20, 40 y 60 minutos); se tomó una muestra y se determinaron inmediatamente los azúcares reductores y glucosa.

3.6.2. Hidrólisis del almidón en dos etapas.

Para determinar la concentración de almidón a utilizar, se estudió la hidrólisis a diferentes concentraciones de almidón. La primera etapa fue catalizada por α-amilasa inmovilizada en PE y la segunda etapa por glucoamilasa inmovilizada en PE.

Se siguió el siguiente procedimiento: se añadieron 0,8 mL de almidón 60 mg mL^{-1} en buffer fosfato de sodio 20 mM, pH 5 a 30 mg de derivado inmovilizado que contenía α-amilasa. Se incubó durante 1 hora a 50 ° C y en diferentes tiempos (5, 20, 30, 40 y 60 minutos); se tomó una muestra y se determinaron inmediatamente los azúcares reductores. El hidrolizado resultante de la acción de la α-amilasa se separó por centrifugación a 6000 rpm y el sobrenadante se añadió a 30 mg de derivado que contenía glucoamilasa inmovilizada. Se incubó durante 1 hora a 50 ° C y en diferentes tiempos (5, 20, 30, 40 y 60 minutos); se tomó una muestra y se determinó inmediatamente la glucosa.

3.6.3. Hidrólisis del almidón en una etapa.

Otra estrategia que podría reducir los costos del proceso es inmovilizar ambas enzimas en el mismo soporte; por tanto, el proceso de hidrólisis del almidón podría realizarse en una etapa.

Se siguió el siguiente procedimiento: se añadieron 0,8 mL de almidón 60 mg mL^{-1} en buffer fosfato de sodio 20 mM, pH 5 a 30 mg de derivado inmovilizado que contenía α-amilasa y glucoamilasa co-inmovilizada. Se incubó durante 1 hora a 50 ° C y en diferentes tiempos (5, 20, 30, 40 y 60 minutos); se tomó una muestra y se determinaron inmediatamente los azúcares reductores y la glucosa.

3.6.4 Reutilización de derivado inmovilizado sobre EP. Hidrólisis del almidón en una etapa.

Después del primer ciclo de uso de enzimas inmovilizadas, el producto se descargó del reactor. Posteriormente, la adición de sustrato fresco se repitió dos veces en cada ciclo de carga (sustrato) y descarga (producto) para estudiar la reutilización de las enzimas.
Todos los ensayos cinéticos se realizaron por triplicado. Gráficos, regresión no lineal.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. *Co-inmovilización de glucoamilasa y α-amilasa.*

Las enzimas α-amilasa y glucoamilasa se inmovilizaron conjuntamente en PE. La cantidad de proteína y actividad fijada sobre el soporte se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Preparaciones enzimáticas para la co-inmovilización de glucoamilasa y α-amilasa en PE.

Preparación Enzimática	Proteína (µg / mg soporte)	Proteína Fijada (µg / mg soporte)	Actividad (ηkat /mg soporte)
α-amilasa	2,609	1,009	0,142
glucoamilasa	10,924	0,761	0,631
α-amilasa	11,005	1,750	0,286
glucoamilasa	3,323	0,370	0,572
α-amilasa	5,636	1,388	0,205
glucoamilasa	6,782	0,541	0,776

1 mL de enzima (α-amilasa + glucoamilasa) en buffer fosfato 20 mM pH 5 por 30 mg de soporte.

4.1.1. Efecto del pH y la temperatura sobre la actividad enzimática de enzimas co-inmovilizadas.

La dependencia de la actividad de las enzimas co-inmovilizadas sobre PE con el pH y la temperatura se muestra en la Fig. 1.

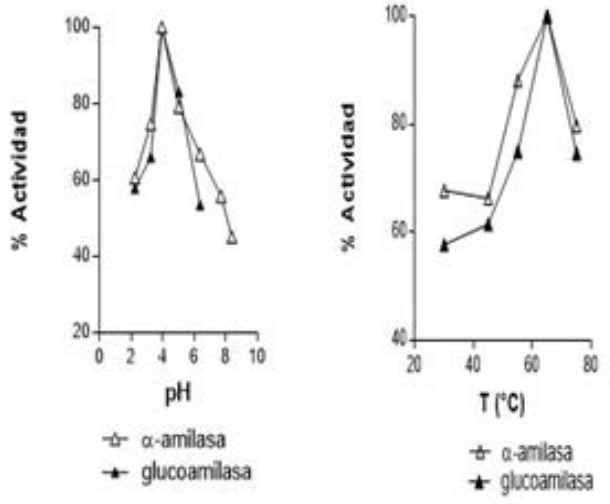


Figura 1. Efecto del pH y la temperatura sobre la actividad de las enzimas co-inmovilizadas.

El pH óptimo resulto entre 4 y 6 y la temperatura de máxima de actividad se determinó entre 60 ° C y 80 ° C.

4.2. *Hidrólisis de almidón.*

4.2.1. Hidrólisis enzimática del almidón.

Para estimar el porcentaje de conversión de almidón en maltosa (azúcares reductores) y glucosa, se realizó un ensayo de hidrólisis enzimática con una solución enzimática que contiene α-amilasa y glucoamilasa libres. Los azúcares reductores y la glucosa obtenidos después de la hidrólisis se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Hidrólisis enzimática del almidón con α-amilasa y glucoamilasa solubles.

Buffer fosfato 20 mM pH 5, se incubó 1 hora a 50 ° C.

Volumen de reacción de 5 mL.

α-amilasa 0,0469 mg mL-1.

Glucoamilasa 0,196 mg mL-1.

* Medido como reductores de maltosa.

Almidon (mg/mL)	*Maltosa (mg/mL)	Glucosa (mg/mL)
20	31,19	14,66
40	45,19	23,04
60	108,8	53,04

4.2.2. Hidrólisis del almidón en dos etapas.

La producción de glucosa resultante se presenta en la Fig. 2.

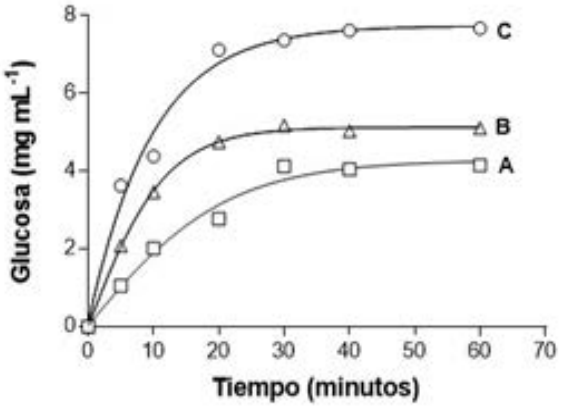


Figura 2. Producción de glucosa por hidrólisis del almidón en dos etapas.
A) Primera etapa: α-amilasa *A. oryzae* inmovilizada en PE de 0.142 ηkat mg^{-1} soporte.
B) Segunda etapa: glucoamilasa *A. niger* inmovilizada en PE con actividad de 0.631 ηkat mg^{-1} soporte.
Volumen del reactor 0,8 mL; temperatura 50 ° C, 30 mg de soporte. Concentración inicial de almidón: (A) 20 mg mL^{-1}, (B) 40 mg mL^{-1}, (C) 60 mg mL^{-1} en buffer fosfato de sodio 20 mM pH 5,5.

La concentración de glucosa obtenida al final de la primera y segunda etapa para una concentración

inicial de almidón de 20, 40 y 60 mg mL^{-1} resulto de 4,11, 5,10 y 7,54 mg mL^{-1}, respectivamente. Se observa una mayor producción de glucosa cuando la concentración inicial de almidón fue de 60 mg mL^{-1}. No se estudió la hidrólisis de soluciones de almidón a concentraciones más altas de almidón dada su viscosidad.

4.2.3. Hidrólisis del almidón en una etapa.

La producción de glucosa por hidrólisis del almidón en una etapa, catalizada por α-amilasa y glucoamilasa co-inmovilizadas en PE se presenta en la Fig. 3.
La concentración de glucosa obtenida para una concentración inicial de almidón de 20, 40 y 60 mg mL^{-1} resulto de 3,66, 4,12 y 8,13 mg mL^{-1}, respectivamente.

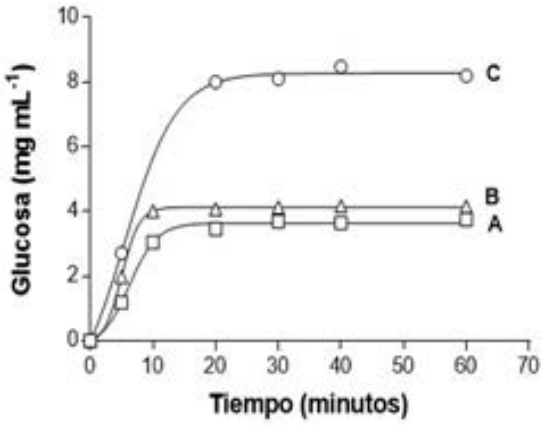


Figura 3. Producción de glucosa por hidrólisis de almidón en un solo paso.
α-Amilasa *A. oryzae* y glucoamilasa *A. niger* inmovilizada en PE con actividad de 0,142 ηkat mg^{-1} soporte y 0,631 ηkat mg^{-1} soporte, respectivamente.
Volumen del reactor 0,8 mL; temperatura 50 ° C; 30 mg de soporte.
Concentración inicial de almidón: (A) 20 mg mL^{-1}, (B) 40 mg mL^{-1}, (C) 60 mg mL^{-1} en buffer fosfato de sodio 20 mM pH 5,5.

El porcentaje de conversión de almidón a glucosa durante el primer uso de enzimas inmovilizadas para el procesamiento de una y dos etapas con una concentración inicial de almidón de 60 mg mL^{-1} fue de 15,3% y 14,2%, respectivamente. Para ensayos posteriores, la concentración de almidón inicial seleccionada fue de 60 mg mL^{-1}.

4.2.4. Reutilización de derivado inmovilizado en PE. Hidrólisis del almidón en dos etapas.

La hidrólisis del almidón a una concentración inicial de 60 mg mL^{-1} en dos etapas catalizada por α-amilasa y glucoamilasa inmovilizada en PE se presenta en la Fig. 4.

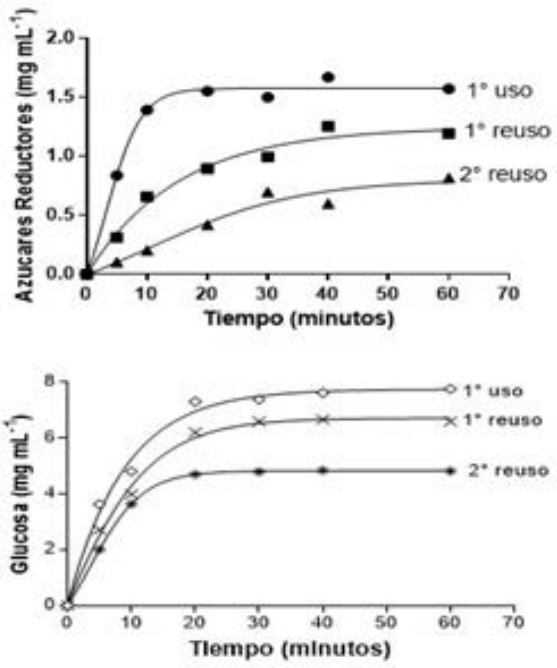


Figura 4. Hidrólisis del almidón en dos etapas. Reutilización del biocatalizador.
A) Primera etapa: α-amilasa *A. oryzae* inmovilizada en PE de 0,142 ηkat mg^{-1} soporte.
B) Segunda etapa: glucoamilasa *A. niger* inmovilizada en PE con actividad de 0,631 ηkat mg^{-1} soporte.
Volumen del reactor 0,8 mL; temperatura 50 ° C, 30 mg de soporte. Concentración inicial de almidón 60 mg mL^{-1} en buffer fosfato de sodio 20 mM pH 5,5.

La concentración de azúcares reductores obtenida en la primera resulto de 1,57 mg mL^{-1} y la concentración de glucosa en la segunda etapa de 7,76 mg mL^{-1}. El porcentaje de conversión de almidón a glucosa durante el primer uso de enzimas inmovilizadas fue del 14,6%. La reutilización de las enzimas inmovilizadas para la primera y segunda reutilización dio como resultado una conversión de almidón a glucosa de 12,4% y 9,04%, respectivamente. La reutilización de las enzimas inmovilizadas permite estimar la desactivación del biocatalizador durante un uso prolongado. La actividad retenida de las enzimas inmovilizadas antes de cada reutilización se presenta en la Tabla 3.

4.2.5. Reutilización de derivado inmovilizado sobre EP. Hidrólisis del almidón en una etapa.

En la Fig. 5 se presenta la hidrólisis de almidón a una concentración inicial de 60 mg mL^{-1} en una etapa, catalizada por α-amilasa y glucoamilasa co-inmovilizadas en PE.

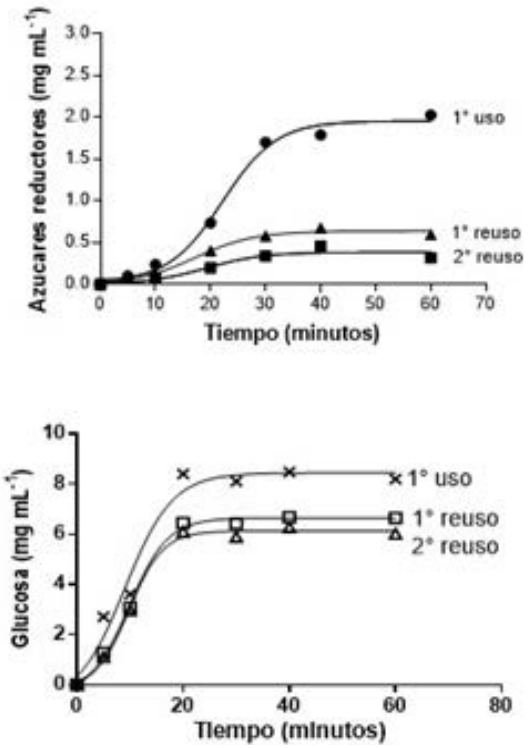


Figura 5. Hidrólisis del almidón en un solo paso. Reutilización del biocatalizador.
α-Amilasa *A. oryzae* y glucoamilasa *A. niger* inmovilizada en PE con actividad de 0,142 ηkat mg^{-1} soporte y 0,631 ηkat mg^{-1} soporte, respectivamente. Volumen del reactor 0,8 mL; temperatura 50 ° C, 30 mg de soporte. Concentración inicial de almidón 60 mg mL^{-1} en buffer fosfato de Sodio 20 mM pH 5,5.

La concentración de azúcares reductores obtenida fue de 2,02 mg mL^{-1} y la concentración de glucosa fue de 8,19 mg mL^{-1}. El porcentaje de conversión de almidón a glucosa durante el primer uso de enzimas inmovilizadas fue del 15,4%. La primera y segunda reutilización de las enzimas co-inmovilizadas dio como resultado una conversión de almidón a glucosa del 12,5% y el 11,3%, respectivamente. La actividad retenida de las enzimas co-inmovilizadas antes de cada reutilización se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3. Porcentaje de actividad retenida de enzimas inmovilizadas y co-inmovilizadas.

Etapa	Soporte (PE)	1° Reuso Act. Ret. (%)	2° Reuso Act. Ret. (%)
2	α-amilasa	47,3	14,2
	glucoamilasa‡	90,9	56,5
1	α-amilasa	41,8	16,7
	glucoamilasa†	85,2	81,9

‡-amilasa y glucoamilasa inmovilizadas individualmente. Soporte con actividad inicial de 0,142 ηkat mg^{-1} soporte y 0,631 ηkat mg^{-1} soporte, respectivamente.

†-amilasa y glucoamilasa co-inmovilizadas. Soporte con actividad inicial de 0,142 ηkat mg^{-1} soporte y 0,631 ηkat mg^{-1} soporte, respectivamente.

Se observa que la pérdida de actividad en la primera reutilización de α-amilasa inmovilizada y co-inmovilizada es similar, con una retención de actividad del 47% y 42%, respectivamente. Sin embargo, la glucoamilasa co-inmovilizada fue más estable, con una retención de actividad en la primera y segunda reutilización del 85% y el 82%, respectivamente.
Los resultados muestran que las etapas de licuefacción y sacarificación pueden combinarse, utilizando un derivado inmovilizado en la hidrólisis del almidón en una etapa, reduciendo así los costos del proceso.

5. CONCLUSIONES.

Los resultados permiten afirmar que la interacción entre las enzimas y el soporte resulto efectiva.
Los porcentajes de hidrólisis de las soluciones de almidón por acción de enzimas inmovilizadas individualmente (hidrólisis en dos etapas) fueron comparables a los resultados obtenidos con la enzima co-inmovilizada (hidrólisis en una etapa), sin embargo se al considerar los costos es más favorable al trabajar en una etapa.
La reutilización de las enzimas inmovilizada por unión covalente resulta atractiva considerando el porcentaje de actividad retenida durante los reúsos.
Hasta el momento no hay antecedentes de trabajos publicados sobre co-inmovilización de α-amilasa *A. oryzae* y glucoamilasa *A. niger* sobre perlita expandida.

6. REFERENCIAS

Bryjak J. Glucoamylase, α-amylase and β-amylase immobilisation on acrylic carriers. *Biochemical Engineer*. J. 16 347-355. 2003.
Buckow R. Two fractional model for evaluating the activity of glucoamylase from A. niger under combined pressure and temperatura conditions. *Food and bioproducts processing*, 8, 220-228. 2005.
D'Souza S.F., Kubal B.S. A cloth strip bioreactor

with immobilized glucoamylase.J. *Biochemical Biophysical*. Methods 51 151-159. 2002.

Galvão K., Bitencourt B., Biduskia A. C., Freitas M., Luciane M. C. y Jeferson P. Co-immobilization of amylases in porous crosslinked gelatin matrices by different reticulations approaches. *International Journal of Biological Macromolecules*. 165, Part A, 1002-1009. 2020.

Hiromi, K., Ohnishi, M. and Tanaka, A. Subsite structure and ligand binding mechanism of glucoamylase. *Molecular Cellular Biochemistry*.51, 79-95 .1983.

Ida J., Matsuyama T., Yamamoto H. Immobilization of glucoamylase on ceramic membrane surfaces modified with a new method of treatment utilizing SPCP–CVD. *Biochemical Engineering Journal.* 5, 3, 179-184. 2000.

Jadhav S.B., Singhal R.S. Co-conjugation vis-à-vis individual conjugation of α-amylase and glucoamylase for hydrolysis of starch. *Carbohydrate Polymers*. 98, 1191-1197. 2013.

Leadlay P.F. An introduction to enzyme chemistry. *The chemical society London*. 1-40, 67-74. 1978.

Lee D.D, Lee Y.Y., Reilly J. P., Collins E.V., Tsao T.G. Pilot plant production of glucose with glucoamylase immobilisedto porous silica. *Biotechnology Bioengineering*. 18 253-267. 1976.

Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., Farr, A. L., and Randall, R. J. Protein measurement with the Folin phenol reagent. J. *Biological Chemistry*. 193, 265–275. 1951.

Manish S., Shamraja N., Virendra R. Combi-metal organic framework (Combi-MOF) of α-amylase and glucoamylase for one pot starch hydrolysis. *International Journal of Biological Macromolecules.*113, 464-475. 2018.

Norouzian D. Fungal glucoamylase. *Biotechnology Advances*. 24, 80-85. 2006.

Park D., Haam S., Jang K., Ahn I. and Kim W. Immobilization of starch-converting enzymes on surface-modified carriers using single and co-immobilised systems: propierties and application to starch hydrolysis. *Process Biochemistry* .40 53-61. 2005.

Rodriguez J., Soria F., Geronazzo H. and Destefanis H. α-Amylase *Aspergillus oryzae* immobilized on Modified Expanded Perlite. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*. 12(1): 587–596. 2014.

Roy I., Gupta N. M. Hydrolysis of starch by mixture of glucoamylase and pullanase entrapped individually in calcium alginate beads. *Enzyme and Microbial Technology*. 34 26-32. 2004.

Shenoy B. C., Katwa L. C., Appu Rao A. G. and Raghavendra Rao M. R.. Fungal glucoamylases. *Journal of Biosciences*. 7, 3 & 4, 399–419. 1985.

Soimachi K. Solution estructure of the granular starch binding domain of *A. niger* glucoamylase bound to b-cyclodextrin. *Structure*. 5, 647-661. 1997.

Tanriseven A. A novel method for immobilisation of glucoamylase to produce glucose from maltodextrin. *Enzyme and Microbial Technology*. 30, 406-409. 2002.

Tanriseven A., Olcer Z. A novel method for the inmobilization of glucoamylase onto polyglutaraldehyde-actived gelatin. *Biochemical Engineering Journal*, 39, 430-434. 2008.

Trevan M. Immobilised enzyme an introduction and applications in biotechnology. John *Wiley and Sons*. pp 138. Chichester. 1980.

Warwick L. Marsden, Peter P. Gray, Greg J. Nippard, Mark R. Quinlan. Evaluation of the DNS method for analysing lignocellulosic hydrolysates. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 32, 7-12, 1016-1022. 1982.

Desarrollo de una metodología para la evaluación de la cinética de liberación de películas activas en alimentos sólidos

Colodro, María V.[1]; Slavutsky, Aníbal M.[1] y Bertuzzi, María A.[1]

(1) Instituto de Investigaciones para la Industria Química (INIQUI), Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta.
veritocolodro@gmail.com; *mabertu@gmail.com*

RESUMEN

Para evaluar adecuadamente la funcionalidad y efectividad de un envase activo para alimentos sólidos es necesario conocer la cinética de liberación del compuesto activo desde la matriz polimérica hacia un simulante del alimento en el mismo estado de agregación que éste (gel de agar). Para poner a punto una técnica que permita obtener datos fiables, se utilizó como sustancia testigo del principio activo el azul de metileno (AM) que fue soportado en películas compuestas de almidón-gelatina, formando la película activa. Luego se estudió la cinética de difusión del AM sobre los geles de agar en condiciones de temperatura controlada. A diferentes tiempos, se retiró la película de la superficie del agar y se cortaron los geles en secciones sobre las que se evaluó el contenido del AM. La técnica desarrollada permitió evaluar cualitativa y cuantitativamente el proceso difusivo, proporcionó resultados reproducibles, no requirió equipamientos sofisticados e implicó un bajo costo de implementación. Por otra parte, la técnica puede adaptarse fácilmente a otros principios activos de interés.

ABSTRACT

It is necessary to know the kinetics release of the active compound from the polymeric matrix to a food simulant in the same aggregation state (agar gel) to properly evaluate the functionality and effectiveness of an active packaging for solid foods. To develop a technique that allows obtaining reliable data, methylene blue (AM) was used as a control substance for the active principle, which was supported on starch-gelatin composite films, forming the active film. Then the diffusion kinetic of AM on agar gels were studied under controlled temperature conditions. At different times, the film was removed from the surface of the agar and the gels were cut into sections on which the content of AM was evaluated. The developed technique allowed a qualitative and quantitative evaluation of the diffusive process, provided reproducible results, did not require sophisticated equipment, and its implementation involved low cost. Furthermore, the technique can easily be adapted to other active ingredients of interest.

Palabras claves: Difusión- Liberación controlada- Matriz biodegradable-Películas activas

Keywords: Diffusion - Controlled release - Biodegradable matrix - Active films

1. INTRODUCCION

El diseño de sistemas carrier de sustancias activas ha cobrado importancia, ya que han sido utilizados comercialmente en productos farmacéuticos, pesticidas y dispositivos biomédicos (Zhang, 2021a, 2021b). Además, se realiza el estudio de estos dispositivos en el área de alimentos, particularmente para envases activos. Debido a las interacciones existentes entre el envase y el alimento, resulta provechoso adicionar a los sistemas de envasado, compuestos que produzcan un efecto beneficioso en el alimento o en su conservación, lo que se conoce como envases activos. Se trata de una técnica de envasado mediante la cual se favorece una interacción positiva envase-alimento con el objeto de mejorar su calidad y aceptabilidad y aumentar su tiempo de vida útil. Se busca mejorar su efectividad mediante el control de la cinética de liberación del principio activo, con la finalidad de lograr una liberación sostenida en el tiempo, evitando la rápida pérdida de su acción.

Por ejemplo, para prevenir la contaminación microbiana o proteger a los alimentos de la oxidación lipídica se adicionan agentes antimicrobianos o antioxidantes a envases para alimentos realizados a partir de diferentes biopolímeros (Khaneghah, 2018). La vehiculización de estas sustancias "activas" en diferentes matrices, evita que puedan sufrir una degradación por factores externos, asegura que su acción se realice en el sitio específico donde se requiere (superficie del alimento) y controla la cinética de liberación, evitando el rápido consumo del compuesto activo (Abdollahzadeh, 2021). Gran parte de los trabajos sobre cinética de liberación de sustancias activas, desde envases basados en películas biopoliméricas, utilizan simulantes de alimentos en estado líquido (agua/alcohol), que generan condiciones de extracción muy diferentes a las que se pueden presentar en alimentos sólidos o semisólidos reales (Gemili, 2009; Imran, 2014; Wu, 2021).

Este trabajo tuvo por objeto poner a punto una técnica de evaluación de la cinética de liberación de un compuesto activo testigo (AM) desde una película biopolimérica comestible (película compuesta de almidón-gelatina) sobre un alimento sólido simulado (geles de agar). Para ello se tomó como referencia el trabajo de Chiarappa (2018), sobre el que se realizaron adaptaciones, mejoras y ajustes.

2. METODOLOGIA

2.1 Difusión de Azul de Metileno (AM) desde películas de Almidón-gelatina

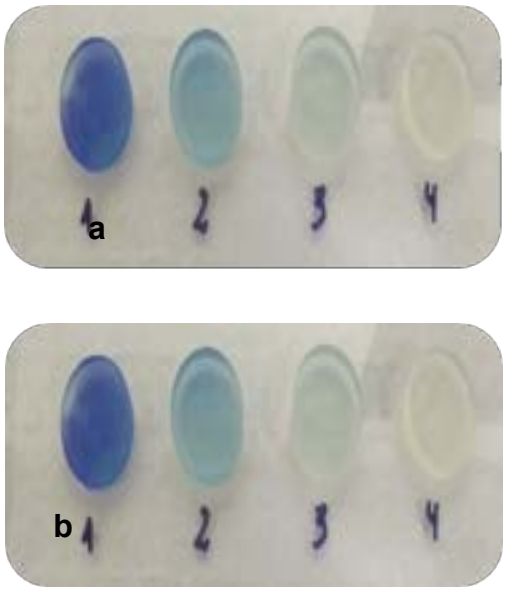
Se prepararon películas compuestas de almidón-gelatina con 5%p/p de almidón y 1% p/p de gelatina. Las mismas fueron plastificadas con glicerol al 20% (p/p total de biopolímeros) y se empleó AM como molécula testigo al 0,1% (p AM/peso total de biopolímeros). Las películas fueron secadas mediante estufa a 40°C durante 24 horas. Previo a la realización del ensayo, se acondicionaron las películas en humedad relativa del 53% durante 72 horas.

Por otro lado, se preparó un gel de agar al 2%(p/p) que se vertió en tubos de 2 cm de diámetro interno y se dejó solidificar en heladera. Se procedió a cortar los cilindros de agar en porciones de 2 cm de alto y aproximadamente 2 cm de diámetro.

Se cortaron las películas de almidón con AM con un diámetro de 2 cm, se las pesó y se las colocó sobre la superficie superior de los cilindros de gel de agar. Se mantuvieron en contacto por 24 horas a 30°C. Transcurrido ese tiempo de difusión del AM, se retiraron las películas y los geles de agar se dividieron y cortaron en discos de 0,5 cm de espesor para cuantificar la cantidad de AM presente en cada porción. Cada porción se puso en contacto con 30 mL de agua destilada (solvente extractor) y se dejó migrar el AM hacia el agua durante una hora con agitación. Transcurrido este tiempo, se tomaron alícuotas de la solución y se midió su absorbancia a una longitud de onda de 660 nm.

Se repitió el procedimiento a los tiempos 4, 8, 48, 72, 96 y 120 horas. Cada película se ensayó por triplicado a 30°C.

En la Fig.1 se observan las etapas del procedimiento.



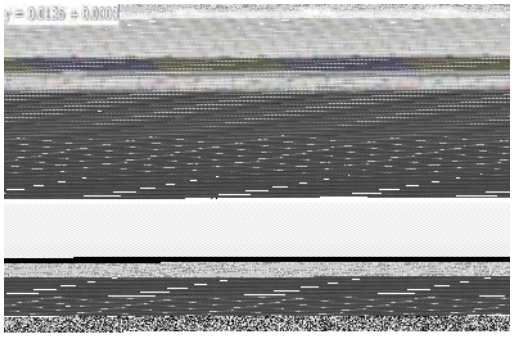


Figura 1. Ensayo de difusión del azul de metileno en agar. a) gel de agar previo al corte. b) vista de arriba de los cortes de los geles de agar (2cm). c) difusión del colorante en 30 mL de agua. Las letras 1, 2, 3 y 4 indican la porción del gel de agar cortado.

En la Fig.1 se muestran las etapas de la técnica difusión en agar usando AM como molécula testigo. En la Fig. 1 a. puede observarse la difusión del AM a lo largo de un cilindro de agar después de transcurrido un cierto tiempo. Una vez completado el tiempo de difusión correspondiente, cada cilindro se cortó en discos con espesor de 0,5 cm (1, 2, 3 y 4), Fig.1 b. Cada sección de agar, se corta en partes más pequeñas y se los coloca en tubos con un determinado volumen de agua y se los deja reposar hasta que el azul difunde al solvente (Fig.1.c).

2.2 Curva patrón para la cuantificación del AM

Para cuantificar con precisión la cantidad de AM presente en cada porción de agar y contemplar el error de medición que puede estar asociado al procedimiento, se preparó una curva patrón a partir de muestras de concentración conocida. Para ello se prepararon soluciones de agar con concentraciones definidas de AM, se moldearon en cilindros y se enfriaron en heladera hasta su solidificación, como se muestra en la Fig.2. Luego se realizaron cortes de 5 mm de alto y 2 cm de diámetro y a estas porciones se las cortó en pequeñas piezas que se mezclaron con un volumen de agua destilada de 30 mL. Se agitó suavemente durante una hora a 25°C. Una vez transcurrida esta etapa de extracción del AM desde el gel a la fase líquida, se extrajeron alícuotas y se leyó la absorbancia a 660 nm.
Los puntos experimentales obtenidos respondieron a una regresión lineal con un R^2 de 0,9977, según la siguiente ecuación:

$$y = 0{,}0126 + 0{,}0003$$

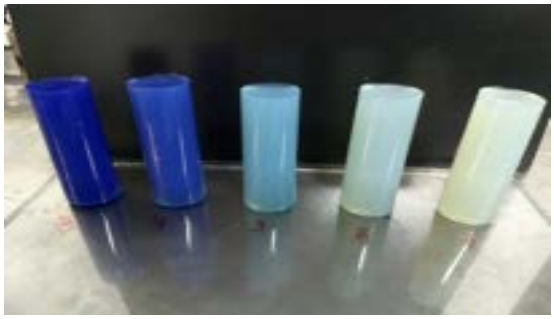
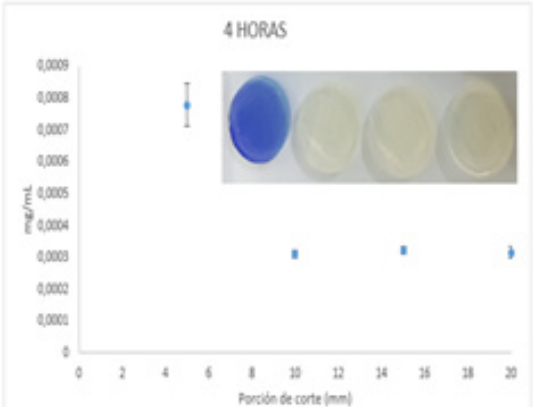
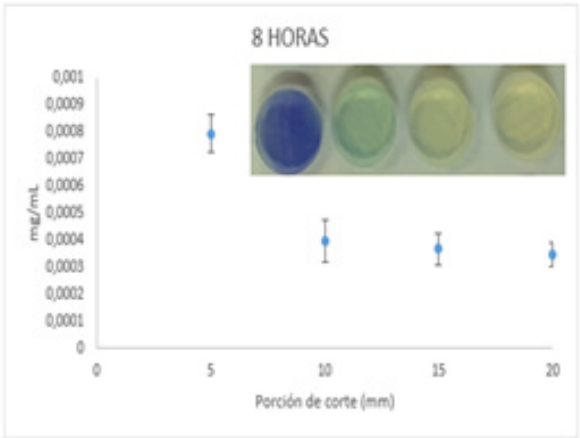


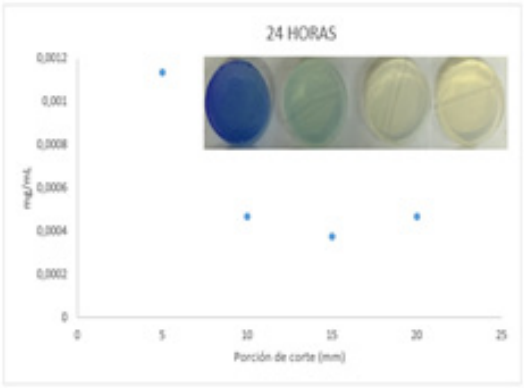
Figura 2. Cilindros de agar con distinta carga de AM, empleados para la curva de calibración.

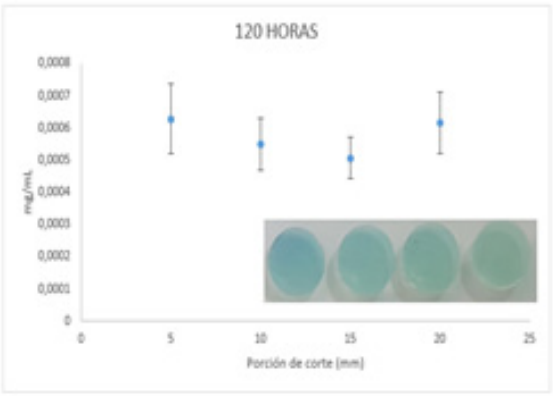
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

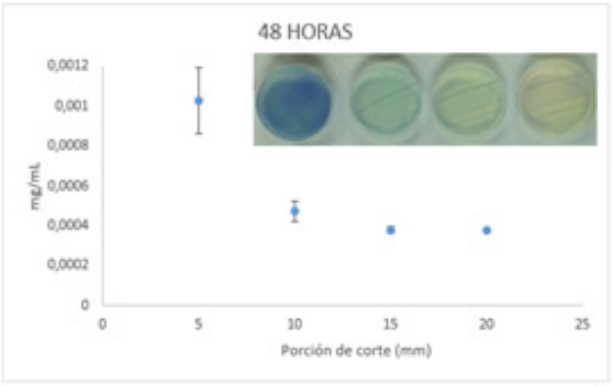
Con los datos obtenidos de los ensayos de liberación de AM desde la matriz polimérica hacia el agar, se procedió a cuantificar el AM presente en cada porción para los distintos tiempos, empleando la ecuación de la curva de calibración.
En la Fig.3, se observan las curvas de liberación de AM en las distintas porciones de agar a diferentes tiempos.

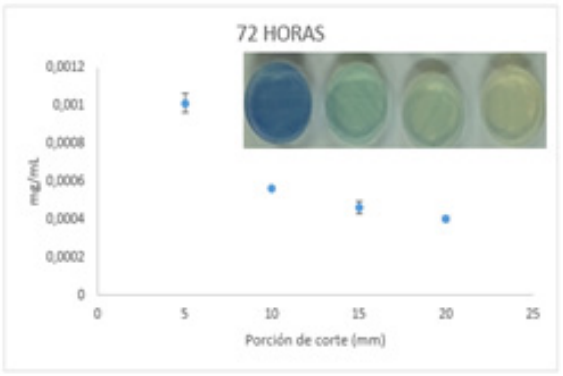












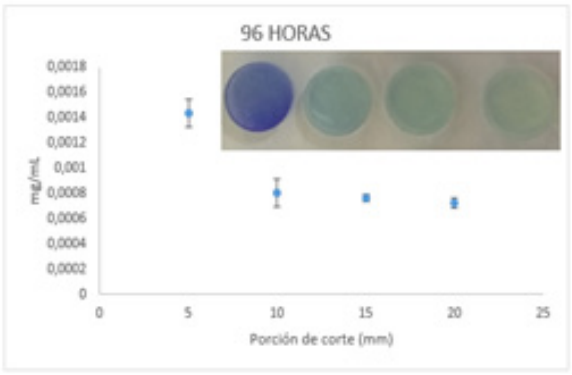


Figura 3. Cuantificación de AM en las porciones del gel de agar a distintos tiempos (8-120 h) a 30°C.

De los resultados expuestos podemos analizar el fenómeno de difusión del AM ocasionado por un gradiente de concentración y el efecto de la gravedad, como fuerzas impulsoras del flujo a lo largo del cilindro de agar y hacia las porciones inferiores (1, 2, 3 y 4). Esto puede observarse de forma cualitativa en las fotografías y de manera cuantitativa en los valores medios experimentales y su desviación estándar. Como puede observarse en Fig.3, en las primeras 8 horas la concentración de AM es muy baja en las porciones inferiores, concentrándose principalmente en la primera porción (1). Entre las 24 y las 72 horas, donde hubo mayor tiempo disponible para el avance del proceso difusivo, puede detectarse un aumento en la concentración de AM en las porciones inferiores. A las 96 horas, las últimas tres porciones presentan una concentración similar.

Teniendo en cuenta que la pared inferior del gel de agar es impermeable al AM, a las 120 horas, la difusión del AM se detiene y se observa que la concentración permanece prácticamente constante a lo largo del cilindro, por lo que se puede inferir que el sistema alcanzó el equilibrio. La desaparición del gradiente de concentración (fuerza impulsora) ocasiona la finalización del proceso difusivo y, por lo tanto, del flujo de AM. Resultados similares fueron reportados por Chiarappa, G. y col., (2018), quienes evaluaron la difusión de ácido ascórbico desde películas de pectina con la incorporación de iones calcio, proponiendo un modelo matemático de la liberación del compuesto activo en cuestión. El perfil de la concentración de ácido ascórbico en el gel de agar a diferentes tiempos (hasta 8 horas) es similar al que se obtuvo en nuestro caso.

Al diseñar sistemas funcionalizados con sustancias que le impartan alguna actividad de interés, ya sea con fines médicos o en el envasado de alimentos, es necesario conocer el proceso de migración de ese “activo” a su lugar de acción. Este complejo proceso depende de numerosos factores como la

temperatura, peso molecular, estructura química de la especie que migra, la matriz polimérica y el medio destino, la polaridad, etc. (Kuai, 2021). Por ello las distintas sustancias pueden mostrar diferentes comportamientos según el soporte y el medio destino, razón por la cual no se pueden obtener conclusiones válidas para cualquier sistema y particularmente en el envasado activo cada sistema debe ser estudiado particularmente. Por ello resulta útil poner a punto técnicas que puedan adaptarse a los diferentes sistemas de interés, que resulten fáciles de llevar a cabo, de bajo costo y que provean resultados fiables. Guillard (2009) en su trabajo, resaltó la importancia de mantener una concentración efectiva en la superficie del alimento a proteger para inhibir el crecimiento de los microrganismos, estudiando la cinética de liberación de ácido sórbico como compuesto activo de películas de gluten de trigo y cera de abeja, usando gel de agar preparadas en placas como simulante del alimento.

Este ensayo, nos permite poner a punto la metodología y establecer las variables y condiciones más significativas para el estudio de la difusión de compuestos activos en este tipo de sistemas, empleando el agar como una matriz que simula un alimento sólido. Cabe destacar que este tipo de análisis previos conducen a resultados más confiables que lo que se obtendrían utilizando como medio de extracción del compuesto activo un simulante líquido (acuoso o hidroalcohólico), sobre todo sabiendo que este tipo de envases no cuentan con propiedades adecuadas para ser usados en el envasado de alimentos líquidos hidrofílicos.

4. CONCLUSION

Por todo lo expuesto, la técnica desarrollada permitió evaluar cualitativa y cuantitativamente el proceso difusivo, la evolución del flujo y la fuerza impulsora a medida que evoluciona el proceso hasta el equilibrio, en nuestro caso empleando una molécula testigo, el azul de metileno, que presenta color, por lo que la difusión de la sustancia puede ser observada fácilmente en el cilindro de agar, y es de cuantificación relativamente sencilla.

El empleo de estos ensayos previos, permite fijar ciertos parámetros del análisis, como temperatura de trabajo, elección de la matriz empleada del solvente extractor después de la difusión, elección de la técnica analítica que me permita cuantificar la sustancia activa o de interés, etc. Teniendo esto presente, serán los puntos a tener en cuenta, cuando se trabaje con sistemas funcionalizados o activos.

Además, proporcionó resultados reproducibles, no requirió equipamientos sofisticados e implicó insumos de bajo costo. Por otra parte, la técnica puede adaptarse fácilmente a otros principios activos de interés.

5. AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue financiado con los subsidios de los proyectos: Nº 2472 del CIUNSa y PIP 2015 (1122015 0100348 CO) de CONICET.

6. REFERENCIAS

Abdollahzadeh, Esmail, Amene Nematollahi, and Hedayat Hosseini. Composition of antimicrobial edible films and methods for assessing their antimicrobial activity: A review. Trends in Food Science & Technology, 2021.

Chiarappa, G., De'Nobili, M. D., Rojas, A. M., Abrami, M., Lapasin, R., Grassi, G., Grassi, M. Mathematical modeling of L-(+)-ascorbic acid delivery from pectin films (packaging) to agar hydrogels (food). Journal of Food Engineering, 234, 73-81, 2018.

Gemili, Seyhun, Ahmet Yemenicioğlu, Sacide Alsoy Altınkaya. Development of cellulose acetate based antimicrobial food packaging materials for controlled release of lysozyme. Journal of Food Engineering 90.4: 453-462, 2009.

Guillard, V., Issoupov, V., Redl, A., Gontard, N. Food preservative content reduction by controlling sorbic acid release from a superficial coating. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 10(1), 108-115, 2009.

Imran, M., Klouj, A., Revol-Junelles, A. M., Desobry, S. Controlled release of nisin from HPMC, sodium caseinate, poly-lactic acid and chitosan for active packaging applications. Journal of Food Engineering, 143, 178-185, 2014.

Khaneghah, Amin Mousavi, Seyed Mohammad Bagher Hashemi, Sara Limbo. Antimicrobial agents and packaging systems in antimicrobial active food packaging: An overview of approaches and interactions. Food and Bioproducts Processing 111: 1-19, 2018.

Kuai, L., Liu, F., Chiou, B. S., Avena-Bustillos, R. J., McHugh, T. H., Zhong, F. Controlled release of antioxidants from active food packaging: A Review. Food Hydrocolloids, 106992, 2021.

Wu, L. T., Tsai, I. L., Ho, Y. C., Hang, Y. H., Lin, C., Tsai, M. L., Mi, F. L. Active and intelligent gellan gum-based packaging films for controlling anthocyanins release and monitoring food freshness. Carbohydrate Polymers, 254, 117410, 2021.

Zhang, L., Yu, D., Regenstein, J. M., Xia, W., Dong, J. A comprehensive review on natural bioactive films with controlled release characteristics and their applications in foods and pharmaceuticals. Trends in Food Science & Technology, 2021a.

Zhang, W., Jiang, H., Rhim, J. W., Cao, J., Jiang, W. Effective strategies of sustained release and retention enhancement of essential oils in active food packaging films/coatings. Food Chemistry, 130671, 2021b.

Diseño, análisis y fabricación de un prototipo de órtesis inmovilizante de muñeca

Zamora, Ana B.[1] y Acosta, Lucas P.[1]

(1) Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán.
zamoraab91@gmail.com; lacosta@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN

El desarrollo de dispositivos para inmovilizar miembros superiores lesionados abarca diversas tecnologías y metodologías, desde el entablillado y enyesado, hasta órtesis compuestas configurables.
Mediante la aplicación de herramientas de diseño asistido por computadora (CAD) e ingeniería asistida por computadora (CAE) buscamos diseñar un modelo de órtesis inmovilizante de muñeca para reducir o eliminar los rechazos por parte del paciente y la necesidad de ajustar el dispositivo inmovilizante por parte del ortopedista. Se empleó un modelo 3D de antebrazo idealizado para el diseño de una órtesis delgada adaptada a las particularidades del modelo empleado. El modelo se sometió a un estudio de método de elemento finito (FEM) para determinar la distribución de esfuerzos y deformaciones en su configuración geométrica. El prototipo del dispositivo se construyó en impresión 3D.
Pudo verse que los valores mayoritarios de tensiones se concentraron en una pequeña región en la caladura de la fijación, cuyo valor para el movimiento de flexión fue de 173.16 MPa, mientras que para la extensión fue de 111.72 MPa, ambos concentrados en el calado central del lado externo. Los desplazamientos totales fueron mayoritarios en el extremo distal de la órtesis, con valores de 3.69mm para la flexión y 2.38mm para la extensión.

ABSTRACT

The development of devices to immobilize injured upper limbs encompasses various technologies and methodologies, from splinting and casting, to configurable composite orthoses.
Through the application of computer-aided design (CAD) and computer-aided engineering (CAE) tools, we seek to design an immobilizing wrist orthosis model to reduce or eliminate rejections by the patient and the need to adjust the immobilizing device by the patient of the orthopedist.
An idealized 3D forearm model was used for the design of a thin orthosis adapted to the particularities of the model used. The model was subjected to a FEM study to determine the distribution of stresses and strains in its geometric configuration. The prototype of the device was built in 3D printing.
It could be seen that the majority values of stresses were concentrated in a small region in the opening of the fixing, whose value for the bending movement was 173.16 MPa, while for the extension it was 111.72 MPa, both concentrated in the central openwork on the outer side. Total displacements were the majority at the distal end of the orthosis, with values of 3.69mm for flexion and 2.38mm for extension.

Palabras claves: Órtesis - Modelo 3D - Impresión 3D

Keywords: Orthosis – 3D Model - 3D Printing

1. INTRODUCCION

El desarrollo de dispositivos para inmovilizar miembros superiores lesionados abarca diversas tecnologías y metodologías, desde el entablillado y enyesado, hasta órtesis compuestas configurables.
La mano está ubicada en el extremo distal de la cadena cinemática del miembro superior, donde funciona como su efector final. La mano es tanto un órgano de información como un órgano de ejecución según Tubiana (1981).
El movimiento de la articulación de la muñeca se resume en dos tipos, en torno a dos ejes. Un movimiento de flexo-extensión en torno a un eje transversal contenido en el plano frontal, y un movimiento de aducción-abducción respecto de un eje anteroposterior en el plano sagital. Dichos grados de libertad deben ser restringidos por un dispositivo inmovilizador.
El desafío de disponer de dispositivos de inmovilización para lesiones postraumáticas, como luxaciones, se centra en su adaptación a la fisionomía del ser humano. En la actualidad, las tecnologías de escaneo 3D, herramientas de ingeniería asistida por computadora sumado a la impresión 3D se logra ajustar lo máximo posible a las necesidades del paciente.
En los campos de la ortopedia y la rehabilitación, la personalización de la atención al paciente está cada vez más influenciada por el desarrollo de nuevas tecnologías en impresión 3D y, en particular, mediante el método por deposición fundida. Las técnicas de creación de prototipos son viables en el ámbito médico. En particular, el uso de impresoras 3D se está extendiendo en el campo de las órtesis y se espera que su difusión se acelere en un futuro próximo, dada la continua evolución de materiales disponibles y el bajo costo de producción de las diversas tecnologías aditivas como lo descripto por Baronio (2016).

2. OBJETIVO

Mediante la aplicación de herramientas de diseño asistido por computadora (CAD) e ingeniería asistida por computadora (CAE) buscamos diseñar un modelo de órtesis inmovilizante de muñeca que pueda salvar las particularidades de la región en el paciente, para reducir o eliminar los rechazos por parte del mismo y la necesidad de ajustar el dispositivo inmovilizante por parte del ortopedista.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el diseño de una órtesis delgada adaptable se empleó un modelo 3D teórico de antebrazo. Para esto, se segmentó la superficie referida a una curva sobre el plano sagital de la mano con el objetivo de definir un contorno sobre el cual se ejecutó la operación de extrusión del dispositivo inmovilizador, como se muestra en la Fig.1.

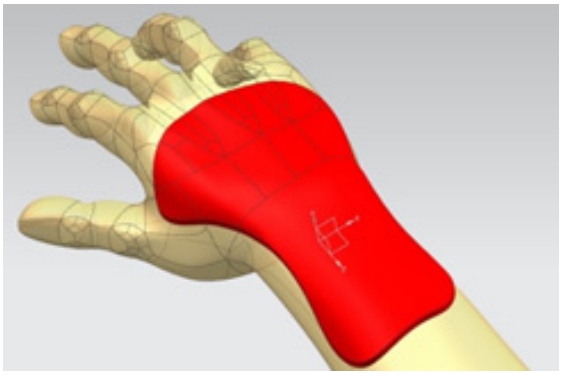


Figura 1. Modelo inicial de la órtesis.

A continuación, se realizó una disminución de densidad de material en la región central con el objetivo de optimizar y mejorar las características de ventilación de la parte sólida. Esta operación se realizó mediante la aplicación de cortes cilíndricos de diámetro 5 mm dispuestos en una configuración triangular. Además, se efectuaron 6 cavidades rectangulares de 5 mm por 20 mm para las fijaciones, como se muestra en la Fig.2.

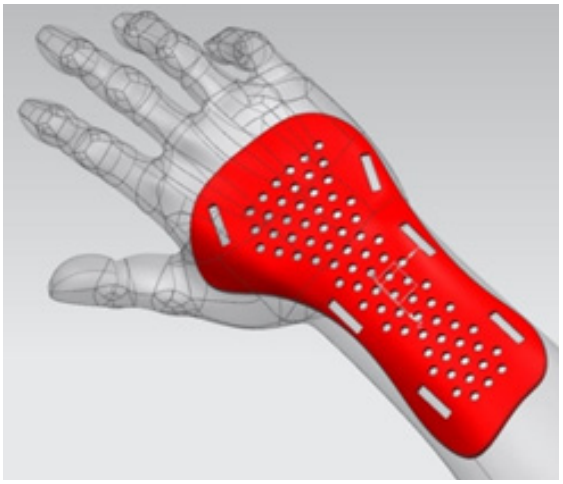


Figura 2. Modelo optimizado de la órtesis.

Por último, se sometió al modelo a un estudio basado en método de elemento finito (FEM) para determinar la distribución de esfuerzos y deformaciones en su configuración geométrica. Para esto se plantearon dos hipótesis; la primera fue que el material empleado era isotrópico. La segunda es que la carga aplicada se ejerce sobre una región específica conforme a la naturaleza del movimiento que debe ser restringido. Se consideraron como situaciones más desfavorables

los movimientos de flexión y extensión de la muñeca. En base a la literatura se obtuvieron los valores de torque ejercidos por la articulación de la muñeca para diferentes posiciones del antebrazo, siendo los casos extremos de flexión con un valor de momento máximo de 14 Nm y para la extensión de 9 Nm como lo describe Lehman (1990). En nuestra situación, del modelo 3D utilizado se determinó una distancia de 75 mm entre el centro de rotación de la articulación y el punto de aplicación de la fuerza en el centro del puño según el dispositivo planteado por Yoshii (2015), como se observa en la Fig.3.

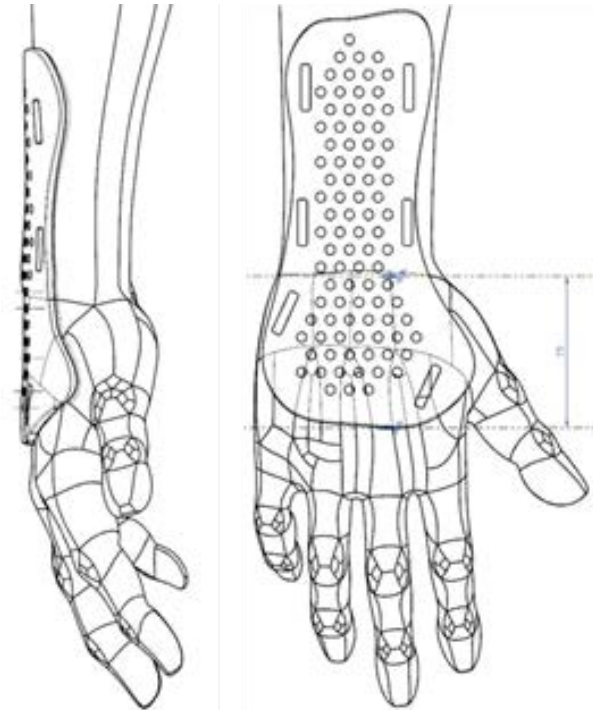


Figura 3. Distancia sobre el plano sagital de la articulación de la muñeca hacia el borde distal de la órtesis.

El mallado del modelo 3D se realizó con una configuración tetraédrica de 10 nodos con un tamaño de 2mm. Para las fijaciones se consideró que la restricción del movimiento de flexo-extensión de la muñeca daría lugar a la situación más adversa para el dispositivo, razón por la cual se dejó libre el par de fijaciones distales, ubicadas sobre la palma, mientras que se fijaron las caladuras para las fijaciones media y proximal, como se observa en la Fig.4.

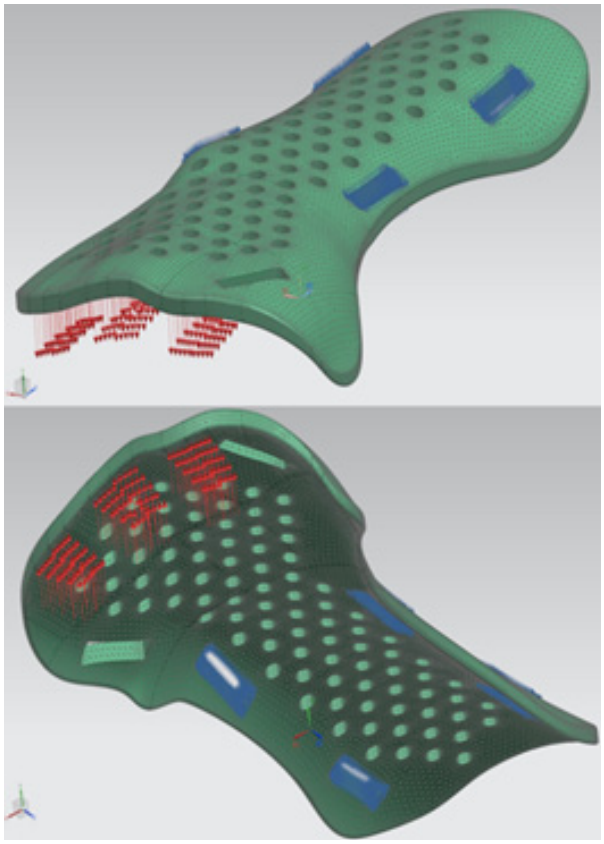


Figura 4. En la parte superior se muestran las condiciones para la flexión y la parte inferior exhibe las condiciones para la extensión.

En cuanto al material utilizado, se empleó ácido poli láctico (PLA) por ser un material económico, de fácil impresión, biodegradable y en especial biocompatible.
Para las fijaciones en el antebrazo y la palma, se empleó cinta de velcro de 20 mm de ancho, debido a su facilidad de ensamble y costo accesible.
El prototipo del dispositivo se construyó en impresión 3D mediante la técnica de deposición de filamento fundido (FDM) con una Impresora 3D ortogonal Creality Ender 3, noozzle de 0.4 mm y espesor de capa de 0.2 mm.

4. RESULTADOS

Para el análisis realizado en FEM, pudo verse que los valores mayoritarios de tensiones se concentraron en una pequeña región en la caladura de la fijación, cuyo valor para el movimiento de flexión fue de 173.16 MPa (Fig.5), mientras que para la extensión fue de 111.72 MPa (Fig.6), ambos concentrados en el calado central del lado externo.

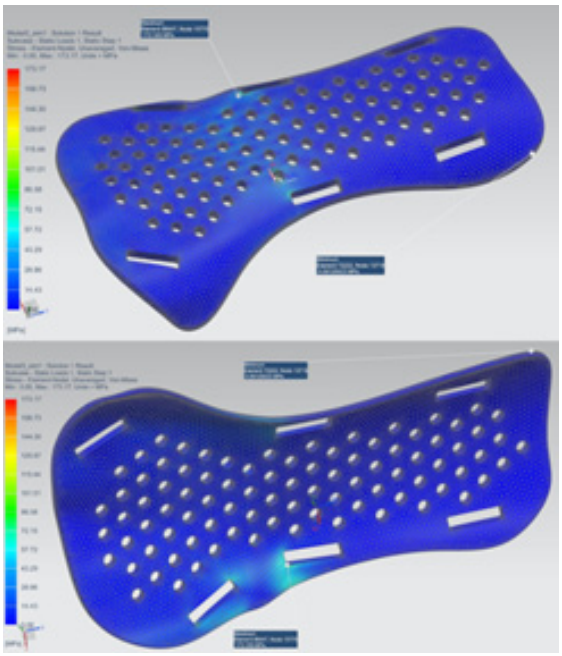


Figura 5. Distribución de esfuerzos para el movimiento de flexión.

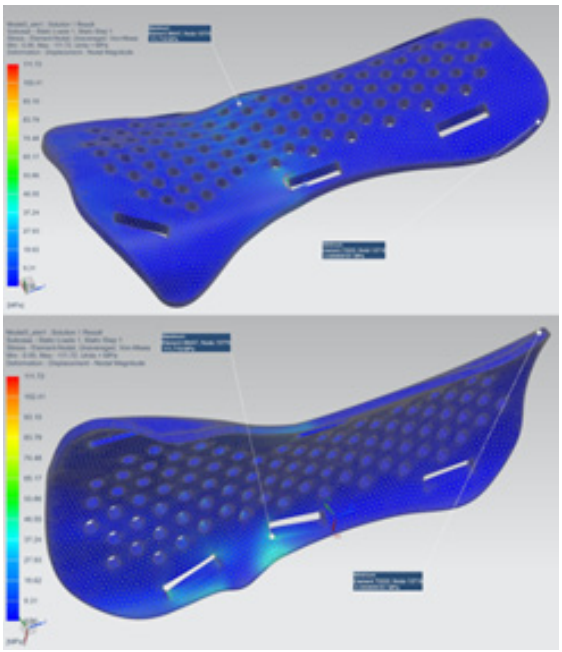


Figura 6. Distribución de esfuerzos para el movimiento de extensión.

Los desplazamientos totales fueron mayoritarios en el extremo distal de la órtesis, como era de esperarse, con valores de 3.69 mm para la flexión (Fig. 7) y 2.38 mm para la extensión (Fig. 8).

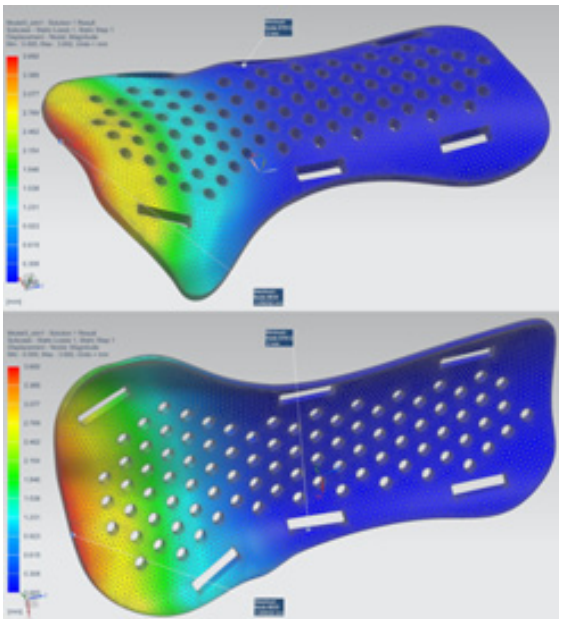


Figura 7. Distribución de desplazamientos para el movimiento de flexión.

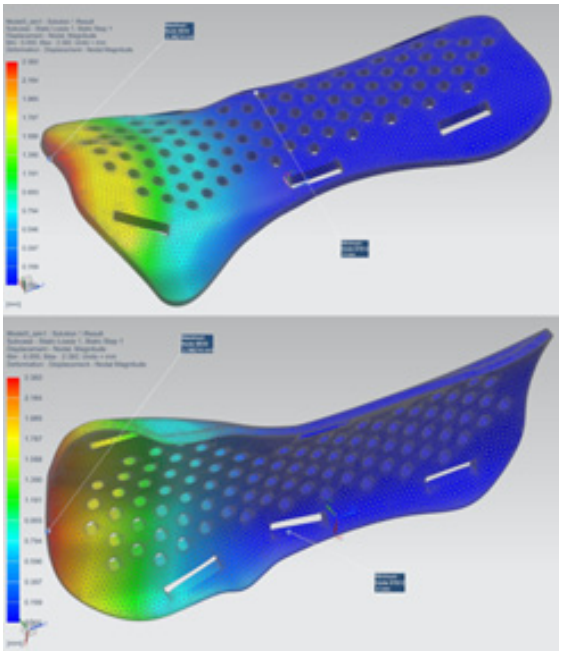


Figura 8. Distribución de desplazamientos para el movimiento de extensión.

La fabricación del dispositivo tomó un tiempo de aproximadamente 4 horas por medio de la técnica de impresión 3D mencionada, obteniéndose el modelo materializado, como puede verse en las Fig. 9 y Fig.10.



Figura 9. Prototipo de órtesis finalizado.



Figura 10. Calce del prototipo en un antebrazo de prueba.

5. CONCLUSIONES

El prototipo construido guarda gran similitud con el modelo virtual planteado lo cual representa una importante ventaja en el momento de ofrecer una solución práctica para un problema complejo como lo es la restricción de movimientos articulares.
Encontramos que la utilización de un modelo 3D del miembro que se pretende inmovilizar resultó

de gran utilidad a la hora de construir el dispositivo para tal fin, puesto que las peculiaridades de la superficie de contacto entre el usuario y la órtesis podrían ser salvadas en su totalidad, reduciendo significativamente los rechazos por parte del paciente y los ajustes por parte del ortopedista.
En lo referente al prototipo del dispositivo, los efectos mecánicos debidos a las fuerzas ejercidas por la articulación de la muñeca pueden considerarse poco significativos debido al carácter transitorio de la utilidad del mismo, sin embargo, para futuras investigaciones podría tenerse en cuenta el efecto de la fatiga y cargas dinámicas.

6. REFERENCIAS

Baronio, G., Harran, S., Signoroni, A., *A Critical Analysis of a Hand Orthosis Reverse Engineering and 3D Printing Process*, Applied Bionics and Biomechanics, volume 7, 2016.

Lehman, S.L., Calhoum B.M., *An identified model for human wrist movements*, Experimental Brain Research, 81, 199-208, 1990.

Tubiana, R., *Architecture and functions of the hand*, The hand, vol. 1, pp. 19–93, 1981.

Yoshii, Y., Yuine, H., Kazuki,O., Tung, W., Ishii, T., *Measurement of wrist flexion and extension torques in different forearm positions*, BioMedical Engineering OnLine, 14:115 , 2015

Deposición superficial en superficies triangulares modificadas: un estudio de Monte Carlo

Pena Ausar J. E.[1] y Pinto O.A.[2]

(1) *Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina, joaquinezequiel7.jp@gmail.com*

(2) *Facultad de Ciencias Exactas y tecnológicas, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina, oapinto2010@gmail.com*

RESUMEN

En el presente trabajo estudiamos, la deposición superficial sobre una superficie modificada de geometría triangular, con la técnica de simulación de Monte Carlo. La superficie ha sido modificada con la deposición irreversible aleatoria de partículas, no electroactivas, que cumplen el rol de impurezas, que pueden bloquear una fracción de los sitios de deposición. Seguidamente una segunda especie electroactiva es capaz de depositarse. El proceso de adsorción/desorción implica la transferencia de carga, es decir, cuando se adsorbe una partícula, se transfiere un electrón a la superficie del electrodo y viceversa. El análisis se basa en el estudio de isotermas y compresibilidades de la monocapa. Esta última es equivalente a la corriente eléctrica asociadas a los voltagramas. Se han considerado interacciones laterales a primeros vecinos entre partículas electroactivas e impurezas. Diferentes escenarios energéticos se han estudiado como también diferentes concentraciones de impurezas. También se planteó la aplicación de una isoterma teórica la cual ha sido modificada para incluir las impurezas. Con esto exploramos el efecto de las impurezas en el proceso descripto.

ABSTRACT

In the present work we study the surface deposition on a modified surface of triangular geometry, with the Monte Carlo simulation technique. The surface has been modified with the random irreversible deposition of particles that play the role of impurities, which can block a fraction of the adsorption sites. A second electroactive species is capable of being adsorbed or deposited. The adsorption / desorption process involves charge transfer, that is, when a particle is adsorbed, an electron is transferred to the surface of the electrode. The analysis is based on the study of adsorption isotherms and compressibilities of the monolayer. The compressibility is equivalent to the electric current associated with the voltagrams. Lateral interactions have been considered to first nearest neighbors between electroactive particles and impurities. Different energy scenarios have been studied as well as different concentrations of impurities. The application of a theoretical isotherm was also proposed, which has been modified to include impurities. With this we explore the effect of impurities in the described process.

Palabras claves: Superficies modificadas-Monte Carlo-Impurezas-Deposición superficial

Keywords: modified surfaces-Monte Carlo-Impurities-surface deposition

1. INTRODUCCION

La posibilidad de combinar materiales para mejorar las propiedades electroquímicas y termodinámicas ha captado la atención en muchas áreas de la ciencia en los últimos años. En electroquímica, la técnica de voltamperometría permite el análisis de los mecanismos asociados a la transferencia de carga y estudios relacionados con superficies modificadas (Bard 2001, Schmickler 2010). Esto se ha aplicado largamente en diversas áreas, como por ejemplo, en biosensores (Rad 2011). En el último tiempo diferentes estrategias se han practicado para modificar la superficie de un electrodo y así mejorar propiedades. La deposición de partículas extrañas, como las nanopartículas(Welch 2006), es una estrategia de modificación clave, ya que no solo es capaz de conferir un rango único de propiedades, sino que también permite modular las características electroquímicas de la superficie por ejemplo: mejorar las propiedades electrocatalíticas o limitar el acceso de algunas sustancias en una muestra compleja. La deposición irreversible de partículas externas sin carga, denominadas partículas no electroactivas, en la superficie del electrodo puede aumentar o reducir la corriente en el circuito, ya que afecta el entorno energético y pueden bloquear los sitios de deposición. Por ejemplo, existen procesos catalíticos en que los sitios activos modificados, aceleran o desaceleran la velocidad de reacción (Kuznetsov 2012, Zolfaghari 1997). Recientemente, los métodos computacionales han tenido un gran auge, desde la posibilidad de manipular parámetros que no se pueden controlar directamente en un laboratorio experimental. El fenómeno electroquímico se ha abordado mediante varios métodos de cálculo; de elementos finitos (Compton 2013) o las simulaciones digitales (Speiser 2016). Por otro lado la simulación de Monte Carlo (MC) (Binder, 2010) junto con modelos de gas de red son estrategias de uso común para comprender los fenómenos que ocurren en los procesos electroquímicos (Rikvold 2015). Además de la simulación, también se han desarrollado enfoques teóricos. Una ventaja de esto es la posibilidad de obtener información relevante a través de una expresión matemática simple. Mediante el enfoque de aproximaciones tipo Langmuir(Hill 1960), de campo medio y aproximaciones cuasi químicas en electrodos limpios, se estudió la voltametría para electrodeposición en modelos que incluyen interacciones laterales repulsivas para adsorción de bromuro en Ag (100), Ag (110) y Ag (111) (Koper 1998), en estos últimos ejemplos, los primeros dos corresponde a redes con geometría cuadrada y el ultimo a una red triangular. Los voltagramas de electrodeposición con interacciones laterales atractivas, se han estudiado en detalle mediante simulación cinética de MC y enfoques del tipo de campo medio (MFA) (Berthier 2004). En este trabajo estudiaremos la termodinámica y la electrosorción de un electrodo modelado con red de geometría triangular, modificado con impurezas. Este modelo de redes triangulares son usados en diversos sistemas reales como superficies del tipo (111) y también en baterías de ion Litio(Perassi 2016, Gavilan Arriazu 2017). En este trabajo, la superficie será modificada con la deposición irreversible de partículas que bloquearan sitios de adsorción. Luego una partícula electroactiva podrá adsorber o desorberse en los sitios disponibles. La técnica usada en este trabajo es la simulación de Monte Carlo en el conjunto estadístico gran canónico.

2. MODELO Y SIMULACION DE MONTE CARLO

En trabajos anteriores (Arriazu 2017, 2018, Gimenez 2020) se aplicó un modelo de gas de red de geometría cuadrada para describir los efectos de una especie electroactiva en la interfase electrolito-electrodo, sobre una superficie modificada con impurezas. Siguiendo esta línea, la superficie del electrodo, o sustrato, se modela mediante una red triangular con $M = L \times L$ sitios de adsorción, siendo L el tamaño lateral del sistema. Cada sitio de deposición posee coordinación con 6 primeros vecinos. Este tipo de red se utiliza para emular una red de grafeno, típica en una batería de ion litio (Gavilan-Arriazu 2018). La transferencia de carga eléctrica ocurre cuando una partícula electroactiva es adsorbida o desorbida de la superficie, liberando o removiendo un electrón del electrodo. Consideramos que dos electrones no se pueden transferir en la misma dirección simultáneamente. Para una partícula cargada A^-, esto se puede expresar como;

$$A^- + * \leftrightarrow A_{ads} + e^- \qquad (1)$$

donde (*) representa un sitio vacío, A_{ads} la partícula adsorbida y e^- es la unidad de carga elemental. Este mecanismo produce una corriente efectiva en el circuito electroquímico. En otras palabras, el proceso de adsorción/desorción genera fluctuaciones que pueden relacionarse con la corriente obtenida en un voltagrama experimental (Rickvold 2015, Saravanan 2002). Para estudiar los efectos de impurezas sobre la transferencia de carga, consideramos un electrodo modificado, el cual se obtiene depositando de forma aleatoria e irreversible, una determinada concentración de impurezas. Estas impurezas una

vez en la superficie bloquearan determinados sitios de deposición. Cuando la superficie tiene η sitios bloqueados, habrá M* = M-η sitios disponibles (efectivos) donde las partículas electroactivas pueden ser adsorbidas. La concentración superficial de impurezas se define como r = η/M. En este modelo solo consideraremos energías laterales de interacción entre el adsorbato (partícula A) y las impurezas. En la Fig. 1 se muestra un esquema de modelo de gas de red triangular, donde los círculos son sitios vacíos, las esferas rojas corresponden a las partículas A y las negras a las impurezas. Las flechas indican el par partícula-impureza, los números indican la cantidad de los mencionados pares.

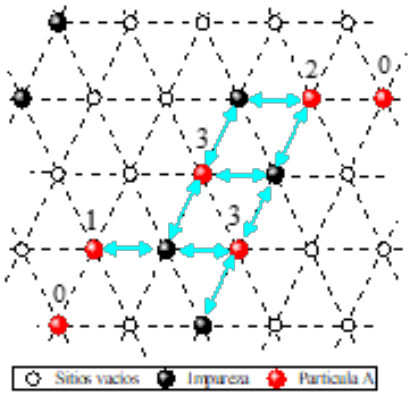


Figura 1: Modelo de gas de red triangular, los círculos simbolizan sitios vacíos, las esferas rojas corresponden a las partículas A y las negras a las impurezas. Las flechas indican el par partícula-impureza. Lo números indican la cantidad de estos pares. Finalmente el Hamiltoniano o energía total del sistema puede escribirse como

$$H(N,\eta) = \frac{1}{2}\sum_{<i,j>}\left(w\delta_{c_i,1}\delta_{c_j,2}\right) - (\varepsilon+\mu)\sum_i^M c_i\delta_{c_i,1} \quad (2)$$

donde c_i es la variable de ocupación del i-ésimo sitio, que puede tomar el valor 1 (2), si el sitio está ocupado por una partícula (impureza), o 0 si el sitio está vacío; δ es el delta de Kronecker. La primera suma cubre todos los NN pares de sitios (i, j). En esta ecuación, w es la energía de interacción lateral entre una partícula y una impureza (se incluye el factor 1/2 para evitar el doble conteo de pares) que se considera en este trabajo únicamente atractiva (negativas). En el último término, la suma es sobre todos los sitios disponibles, μ es el potencial químico y ε corresponde a la interacción adsorbato-adsorbente. En la aproximación de solución diluida, el potencial químico y el potencial del electrodo, E, están relacionados por (Brown 1999),

$$\beta\mu = \beta\mu_0 + ln\left(\frac{C}{C_0}\right) - \beta\gamma e^- E, \quad (3)$$

donde μ_0 es un potencial químico de referencia, $\beta = 1/(k_BT)$ es inverso de la temperatura (k_B es la constante de Boltzmann). C y C_0 son la concentración iónica global y la concentración de referencia, respectivamente. La carga transferida a través del circuito externo se expresa mediante γe^- donde γ es la valencia de electrosorción (Saravana 2002, Schultze 1973), que es constante durante todo el estudio (Hamad 2003, 2004) .

Los parámetros que vamos a considerar en este trabajo son:

Cubrimiento superficial θ,

$$\theta(\mu) = \frac{\langle N_A\rangle}{M^*} \quad (4)$$

Donde N_A es la cantidad de partículas A depositadas. La compresibilidad de la monocapa,

$$Cm = k_BT\left(\frac{\partial\theta}{\partial\mu}\right) = \langle N_A^2\rangle - \langle N_A\rangle^2 \quad (5)$$

Esta cantidad es proporcional a la corriente medida en un experimento voltamétrico. La derivada $\left(\frac{\partial\theta}{\partial\mu}\right)$ puede ser calculada en el conjunto gran canónico a través de la normalización de las fluctuaciones cuadráticas medias. Estas fluctuaciones representan el flujo neto de partículas adsorbidas. <…> simboliza el promedio sobre diversas condiciones iniciales del proceso. El fenómeno en cuestión es simulado mediante la técnica de Monte Carlo en el conjunto estadístico Gran Canónico, con la dinámica de Glauber. Consideramos la superficie del electrodo modificado en contacto con un reservorio de partículas a temperatura T y potencial químico μ, o potencial eléctrico E. Para el proceso de equilibrio de adsorción/desorción se sigue el algoritmo Metrópolis (Binder 1985, Kehr 1987, Metrópolis 1953). La dinámica usada será de Glauber, y es la siguiente: 1)Se define una red con simetría triangular de L^2 sitios de adsorción con una determinada cantidad de impurezas dada por r. 2) Se elige al azar un sitio de la red, y se genera un número aleatorio

comprendido en el siguiente rango £ Є [0 ,1). i)Si el sitio está vacío se adsorbe una partícula A, si $£ \leq P_{Ad}$

donde, $P_A \propto exp\left[-\left(\frac{\Delta H-\mu}{k_B T}\right)\right]$, es la probabilidad de transición. Aquí ΔH, simboliza el cambio de energía en la deposición de la partícula. ii)Si el sitio está ocupado con una partícula A, se intenta desorber, si

$£ \leq P_{D,}$ donde $P_D \propto exp\left[-\left(\frac{\Delta H+\mu}{k_B T}\right)\right]$. iii) Si el sitio es una impureza, se elige al azar un nuevo sitio y se repite desde 2).3) Se repite desde 2) L^2 veces, una vez alcanzado el equilibrio se calcula el promedio de las magnitudes de interés. Se considera un paso de Monte Carlo(MCs) después de que se haya testado cada uno de los M* sitios. Normalmente, el estado de equilibrio se puede alcanzar después de descartar los primeros 5×10^6 MCs. Luego, los siguientes 2×10^6 MCs se utilizan para calcular los promedios.

3. RESULTADOS

La superficie del electrodo limpio considerado consta de M=8100 sitios con condiciones de contorno periódica en ambos ejes. A este valor de M, no se observa efectos de tamaño finito. Como se dijo, la concentración superficial de impurezas depositadas será monitoreada por r. Si, r=0(1) la superficie está limpia(cubierta) de impurezas. La temperatura será considerada en unidades de la k_BT. Para simplificar, el potencial químico y las energías laterales se expresarán también en unidades de k_BT. La valencia de electrosorción constante se estableció en γ=-1. Siguiendo el esquema adimensional, de la ecuación (3), definimos un potencial adimensional como

$$\hat{E} = -\beta\gamma e^{-} E.$$

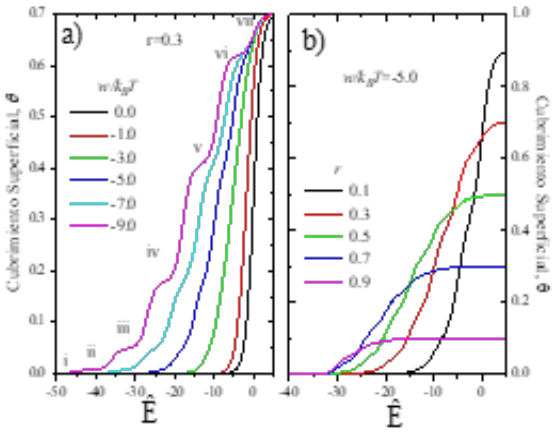


Figura 2: Isotermas de adsorción a) Impurezas fijas en r=0.3 y varios valores de la energía lateral. b) Para energía lateral fija w/k_BT=5.0 y diversos grados de impurezas como se indica.

La Fig. 2 (a) muestran las isotermas de adsorción, θ versus $\hat{E}$ Para una superficie cubierta en un 30% de impurezas que corresponde con r=0.3 y diferentes valores de energía de interacciones lateral como está indicado. Todas las isotermas saturan al valor θ_{sat}=1-r=0.7. El caso de w/k_BT=0.0 corresponde al sistema sin interacciones, donde el llenado de la superficie se hace de manera gradual. La isoterma es similar a una sigmoidea. Como las interacciones son nulas, la deposición es al azar, no hay sitios preferenciales de deposición. Pero a medida que las interacciones se hacen más negativas, más atractivas, las isotermas muestran la formación de diversos plateaus los cuales han sido rotulados con números romanos como se indican para w/k_BT=-9.0. Estos plateaus pueden ser explicados a través de la formación de entornos energéticos. Las impurezas atraen a las partículas del adsorbato, por el carácter atractivo de las interacciones laterales. Las partículas A "preferirán" depositarse en sitios con la mayor cantidad de impurezas en su entorno cercano. Entonces se pueden distinguir 7 entornos energéticos con energía E_n=nw, donde n=0,1, ,..6. donde n corresponde a la cantidad de enlaces con las impurezas. El entorno de menor energía será el 6, y el de mayor energía el cero. En la Fig. 3 se muestran los entornos arbitrarios de n=1 hasta n= 6 , centrados en la partícula A que está identificado con la esfera roja, las impurezas con las esferas negras y los círculos blancos sitios vacíos o con partículas A, ya que estos últimos son energéticamente equivalente.

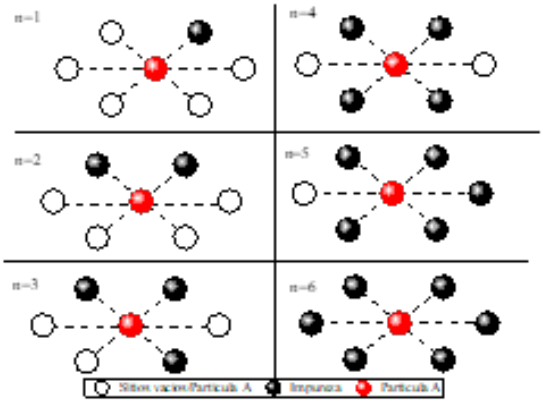


Figura 3: Diferentes entornos energéticos.

Siguiendo con el análisis de las isotermas, el plateau i, se corresponde con el entono más preponderante que es el 6, en el plateau ii) al 6 que ya se había formado, se le suma el 5, ya que estos entornos son lo que minimizan la energía total del sistema. A medida que se incrementa el potencial, el plateau iii) que viene formado por 6, 5 se le suma el 4, así sucesivamente hasta alcanzar el plateau vi. A partir de este estado todas las impurezas están rodeadas de partículas A, esto se denomina "encapsulación". En este punto el sistema alcanza la energía final. A partir de este punto hasta llenar completamente la red, la deposición se realiza de manera al azar en los sitios vacíos disponibles, sin incremento de energía. Este fenómeno fue observado en sistemas nanoestructurados en (Gavilan-Arriazu 2020). La Fig. 2(b) muestras las isotermas para una energía de w/k_BT=-5.0 y diferentes valores de r. Vemos que todas las isotermas saturan en θ_{sat}=1-r. Se observa la formación incipiente de los mismos plateaus, descripto en la figura anterior. Como se dijo antes es posible obtener la compresibilidad de monocapa a través de la ecuación 5. La Fig. 4 muestra la compresibilidad para los datos asociados a la Fig. 2(a). Para el caso de w/k_BT=0.0 la curva muestra un único pico centrado en 0.0. A medida que las interacciones se vuelven más negativas, la intensidad del pico decrece y se desplaza a potenciales más negativos. El pico principal tiende a separarse en varios picos sucesivos, hasta 6 picos para el caso de w/k_BT=-9.0.

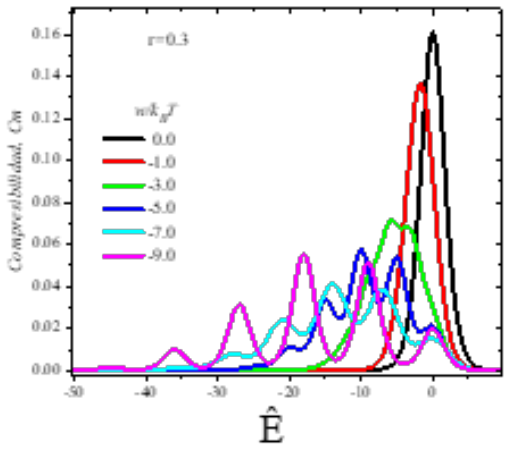


Figura 4: Compresibilidad para r=0.3 y diferentes interacciones laterales.

Como la compresibilidad está asociada a la derivada de la isoterma de adsorción, cada pico está asociado a punto de inflexión de la isoterma. Por otro lado la posición de estos picos está relacionada con la formación de los entornos antes mencionados. Una forma de poder identificarlos es mediante el uso de la isoterma de Langmuir modificada. La cual es una isoterma que no considera explícitamente interacciones laterales, pero si una energía de campo medio. Si consideramos la energía de campo medio como la energía de cada entorno, se podrá identificar con claridad el potencial E, de cada entorno en la simulación. La isoterma de Langmuir para un entorno n y una determinada cantidad de impurezas r, puede escribirse como:

$$\theta_{Lang-n}(n,r) = (1-r)\frac{e^{-\beta(E_n-\mu)}}{1+e^{-\beta(E_n-\mu)}}, \qquad (6)$$

donde E_n representa la energía el entorno, n. Su correspondiente compresibilidad teórica:

$$Cm_L = k_B T\left(\frac{\partial\theta}{\partial\mu}\right) = \frac{(1-r)e^{-\beta(E_n-\mu)}}{(1+e^{-\beta(E_n-\mu)})^2} \qquad (7)$$

Si r=0, la expresión (6) y (7) se reducen a la conocida isoterma de Langmuir (Hill 1960). En la Fig. 5 (a, b, c) para r=0.3, w/k_BT= -9.0, -5.0, -1.0, se muestran en línea continua azul las compresibilidad de MC y en continuas rojas las compresibilidades teóricas, surgidas de la ecuación (7), para cada entorno. En el panel (a) se incluyó Cm_L para E_1=-9.0, E_2=-2*9.0,

E_3=-3*9.0, …E_6=-6*9.0. Los números indican el entorno "*n*" para cada Cm_L así como también para los picos de la simulación. Se hizo lo mismo para las otras energías correspondientes a los paneles b) y c). Observemos que la posición de los picos tantos teóricos como computacionales coinciden, como lo indican las líneas punteadas, esto puede usarse para identificar los entornos poco visibles en la simulación. Para el caso de la simulación, w/k_BT=-9.0 y w/k_BT=-5.0, los entornos del 0 hasta 4 son observables, ya que los picos están bien separado unos de otros, sin embargo los entornos 5 y 6 no se observan a simple vista. La principal utilidad de esta comparación es que permite utilizar Cm_L, para identificar los potenciales del electrodo en la simulación donde se establezcan los entornos. Por ejemplo para el caso w/k_BT=-1.0, en la curva azul los picos no son fácilmente identificables, sin embargo estos coinciden con los máximos de las curvas de Cm_L líneas rojas. Esto permite utilizar la aproximación teoría para obtener información que en simulación no es posible. Esto sucede así ya que los puntos de inflexión coinciden para la expresión teórica y la simulada.

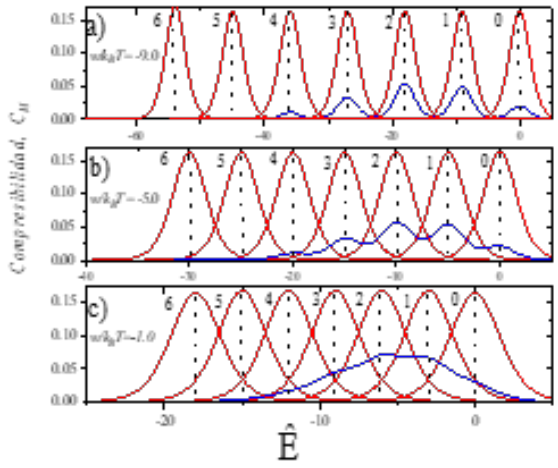


Figura 5: Compresibilidad para r=0.3 y para las energías indicadas. Las líneas azules corresponden a la simulación mientras que las líneas continuas corresponden a la isoterma de Langmuir modificada.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo utilizamos simulaciones de Monte Carlo con aproximaciones teóricas para estudiar el comportamiento de la termodinámica y voltametria de un modelo bidimensional de gas de red con geometría triangular. Dicha red emula la superficie de un electrodo en el cual se deposita la especie electroactiva responsable de la trasferencia de carga eléctrica. Esta superficie ha sido modificada con la deposición aleatoria de impurezas, medidas en cantidad por r. Desde el punto de vista de la energética se ha considerado interacciones puramente atractivas entre las partículas y las impurezas. A temperaturas altas, (w/k_BT=0.0) las isotermas son sigmoides, y la compresibilidad muestra un único pico intenso, para todos los valores de r, las impurezas no tiene ningún efecto y el llenado de la superficie es aleatoria y secuencial. Para un dado valor de r, a medida que las interacciones se vuelven más negativas se observa la formación de diversos plateaus en las isotermas y nuevos picos en la compresibilidad de la monocapa. Estos picos coinciden con los puntos de inflexión de la isoterma. Estos nuevos fenómenos pueden ser explicados con la formación de entornos energéticos. Esos entornos energéticos se asocian a la cantidad de enlaces de cada partícula A. El menos energético será aquel sitio donde una partícula A tenga 6 impurezas en sus primeros vecinos, y el mayor cuando no hayan impurezas cercanas, tenga presente que se consideran interacciones atractivas únicamente. Finalmente también se planteó una expresión teórica, la isoterma de Langmuir para incluir las impurezas. Esta expresión es útil para identificar los picos de la simulación cuando estos no son diferenciales.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina, bajo proyecto CICyT 23/A242. Todas las simulaciones fueron realizadas, el Cluster Huauke, perteneciente al INBIONATEC-UNSE-CONICET.

6. REFERENCIAS

Arriazu, E. G., Zanini V. I. P, Gulotta F. A, Araujo V. M, Pinto O. A., Electrochemical behavior of a typical redox mediator on a modified electrode surface: Experiment and computer simulations, *Surface Science*, *658*, 15-21, 2017.

Arriazu, E. G., Pinto O. A., Electrosorption of a modified electrode in the vicinity of phase transition: A Monte Carlo study, *Applied Surface Science*, 433, 705-712, 2018.

Bard A. J., Faulkner L. R., *Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications*, John Wiley and Sons, New York, 2001.

Berthier, F., Braems, I., Creuze, J., Tétot, R., & Legrand, B. Voltammetry and electrodeposition in the presence of attractive interactions: I. a mean-field approach. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 573(2), 365-376 2004.

Binder K. Heermann D., *Monte Carlo Simulation in Statistical Physics - An Introduction*, Springer,

Berlin, 2010.
Binder K., Stauffer D., edited by K. Binder, *Applications of the Monte Carlo Method* in *Statistical Physics*, Vol. 36 , Springer, Berlin, 1984.
Brown G., Rikvold P. A., Mitchell S. J., Novotny M. A., *Monte Carlo Methods for Equilibrium and Nonequilibrium Problems in Interfacial Electrochemistry Theory, Experiment, and Applications* edited by A. Wieckowski, Marcel Dekker, New York, 1999.
Compton R.G., Laborda E., Ward K.R., *Understanding Voltammetry: Simulation of Electrode Processes*, Imperial College Press, London, 2013.
Gavilán-Arriazu E. M., Giménez R. E., Pinto, O. A., Structural surface and thermodynamics analysis of nanoparticles with defects, *Physical Chemistry Chemical Physics*, 22(40), 23148-23157, 2020.
Gavilán Arriazu E.M., López de Mishima B.A., Oviedo O.A., Leiva E.P.M., Pinto O.A., Criticality of the phase transition on stage two in a lattice-gas model of a graphite anode in a lithium-ion battery, *Physical Chemistry Chemical Physics*. 19 23138–23145. 2017
Gavilán-Arriazu, E. M., Pinto, O. A., de Mishima, B. L., Leiva E. P. M., Oviedo O. A. , Grand canonical Monte Carlo study of Li intercalation into graphite. *Journal of The electrochemical Society,* 165 (10) A2019. 2018.
Giménez R. E., Gavilán-Arriazu, E. M., Pinto, O. A. Electrosorption of a repulsive binary mixture on modified electrodes*, Surface Science*, 695, 121587, 2020.
Hamad I., Wandlowski T., Brown G., Rikvold P. A. , Electrosorption of Br and Cl on Ag (1 0 0): experiments and computer simulations, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 554, 211-219, 2003.
Hamad I., Rikvold P.A., Brown G., Determination of the basic timescale in kinetic Monte Carlo simulations by comparison with cyclic-voltammetry experiments*, Surface science*, 572(2-3), L355-L361, 2004
Hill T. L., *An Introduction to Statistical Thermodynamics,* Addison-Wesley, Reading, MA, 1960.
Kehr K., Binder K., *Simulation of Diffusion in Lattice Gases and Related Kinetic Phenomena, in: K. Binder (Ed.) Applications of the Monte Carlo Method in Statistical Physics, Topics in Current Physics Vol. 36* , Springer, Berlin, 1987.
Koper M. T. A lattice-gas model for halide adsorption on single-crystal electrodes*, Journal of Electroanalytical Chemistry*, *450*(2), 189-201, 1998.
Kuznetsov A. N., Zaikovskii V. I., Parmon V. N., Savinova E. R., Site blocking with gold adatoms as an approach to study structural effects in electrocatalysis. *Electrocatalysis*, 3(3), 211-220, 2012.
Metropolis N., Rosenbluth A. W., Rosenbluth M. N., Teller, A. H., Teller, E, Equation of state calculations by fast computing machines*, The journal of chemical physics*, 21(6), 1087-1092, 1953.
Perassi E.M., Leiva E.P.M, A theoretical model to determine intercalation entropy and enthalpy: Application to lithium/graphite, *Electrochememical Communication.* 65 48–52. 2016.
Rad A.S., Mirabi A., Binaian E., Tayebi H., Review on Glucose and Hydrogen Peroxide Biosensor Based on Modified Electrode Included Silver Nanoparticles, *International Journal of Electrochemical Science*., 6 3671 – 3683, (2011)
Rikvold P. A., Brown G., Mitchell S., *Statistical Mechanics of Lattice Models of Electrochemical Interfaces*. Encyclopedia of Surface and Colloid Science, CRC Press, Boca Raton, 2015.
Saravanan, C., Koper, M. T. M., Markovic, N. M., Head-Gordon, M., & Ross, P. N. , Modeling base voltammetry and CO electrooxidation at the Pt (111)-electrolyte interface: Monte Carlo simulations including anion adsorption*, Physical Chemistry Chemical Physics*, 4(12), 2660-2666, 2002.
Schultze J.W., Vetter K.J. Experimental determination and interpretation of the electrosorption valency γ*, Journal of Electroanalytical Chemistry and Interfacial Electrochemistry*, 44(1), 63-81, (1973).
Schmickler W., Santos E., *Interfacial Electrochemistry*, Springer Science & Business Media, Berlin, 2010.
Speiser B., *Organic Electrochemistry: Application of Digital Simulation*, 5th Edn. CRC Press, Boca Raton, 2016.
Welch C. M., Compton R. G., The use of nanoparticles in electroanalysis: a review. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 384(3), 601-619, 2006.
Zolfaghari A., Villiard F., Chayer M., Jerkiewicz, G. Hydrogen adsorption on Pt and Rh electrodes and blocking of adsorption sites by chemisorbed sulfur. *Journal of alloys and compounds*, 253, 481-487. 1997.

Estudio comparativo de paquetes estadísticos utilizados para la optimización del escaldado de granos de choclo

Medina, Analía V.[1]; Nazareno, Mónica A.[1,2] y Chaillou, Lucrecia L. [1]

(1) Laboratorio de Antioxidantes y Procesos Oxidativos, Instituto de Ciencias Químicas, Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero.
anaveromedina83@gmail.com, lucrechaillou@gmail.com, nazareno@unse.edu.ar
(2) CONICET

RESUMEN

La metodología de superficie respuesta (MSR) es útil en numerosas áreas de las ciencias y, en distintas ramas de la ingeniería, en las cuales es necesario definir la combinación óptima de variables en procesos operativos complejos. En este trabajo, se realizó la optimización de las condiciones de escaldado de granos de choclo, aplicando MSR. Se utilizó la inactivación de lipoxigenasa (LOX) como indicador de la eficacia del tratamiento térmico. Se seleccionó como modelo un Diseño Central Compuesto (DCC) centrado en las caras, con dos factores y tres niveles, temperatura (80, 90 y 100 °C) y tiempo (4, 6,5 y 9 min), como variables independientes, mientras que la respuesta fue la actividad de LOX. En el diseño experimental y en el análisis de los resultados se usaron los programas DESIGN EXPERT 7.0.0, INFOSTAT versión 2018 y STATGRAPHICS versión 2017. Se obtuvo buena concordancia entre el modelo predicho y el modelo experimental, siendo 3,76 UAg^{-1} la respuesta del modelo y 3,64 UAg^{-1} la correspondiente a los datos experimentales, esto valida la eficiencia del modelo, puesto que permite reducir el número de experimentos. Los programas empleados no presentaron diferencias significativas, siendo DESIGN EXPERT el más versátil, de fácil uso y manejo.

ABSTRACT

The response surface methodology (MSR) is remarkably useful in many areas of science and, especially, it is used in different areas of engineering, in which it is necessary to define the optimal combination of different variables in complex operational processes. In this work, the optimization of corn kernel scalding conditions was carried out, applying this methodology. Lipoxygenase (LOX) inactivation was used as an indicator of the effectiveness of the heat treatment. A face-centered Composite Central Design (DCC) was selected as a model, with two factors and three levels, temperature (80, 90 and 100 °C) and b time (4, 6.5 and 9 min) as independent variables; while, the response was LOX activity (expressed in AUg^{-1}). In the experimental design and the analysis of results, DESIGN EXPERT 7.0.0, INFOSTAT version 2018 and STATGRAPHICS version 2017, programs were used. Good agreement was obtained between the predicted model and the experimental model, being 3.76 AUg^{-1} the response of the model and 3.64 AUg^{-1} corresponding to the experimental data; this validates the efficiency of the model, since it allows reducing the number of experiments. The *software* used did not show significant differences, being DESIGN EXPERT the most versatile, easy to use and handle.

Palabras claves: superficie respuesta- lipoxigenasa- choclo- escaldado

Keywords: response surface methodology- lipoxygenase- corn- blanching

1 INTRODUCCIÓN

La metodología de superficie respuesta (MSR) constituye una poderosa herramienta estadística que se aplica en la optimización de procesos y en el análisis de situaciones problemáticas en la que una variable de interés depende de otras variables. El origen de la metodología como tal, se remite al trabajo de Box y Wilson (1951), pero fue, en los últimos 20 años que ha tenido un desarrollo considerable, tanto en aspectos teóricos como en aplicaciones prácticas, debido a la utilización de computadoras (Ockuly y col., 2017).

Esta metodología resulta notablemente útil en numerosas áreas de las ciencias y, especialmente, se utiliza en distintas ramas de la ingeniería, en las cuales hay que definir la combinación óptima de variables en procesos operativos complejos, entre los que se puede mencionar como ejemplos, las optimizaciones de: la fermentación sumergida de carboximetilcelulasa por *Thermomyces dupontii* TK-19 (Nisar y col., 2020); la extracción por ultrasonido de compuestos fenólicos de cerezas cornelias (Dumitraşcu y col., 2019); los requisitos, económicos y de crecimiento *in vitro* de *Penicillium* sp. para la producción de lipasas (Abdullah y col., 2018); las condiciones de blanqueo de zanahorias (Başkaya y Demirdöven, 2015).

Entre los vegetales frescos que se consumen en todo el mundo, los granos de choclo se destacan debido a su aporte nutricional (Shukla y Mishra, 2014). Los nutricionistas recomiendan su ingesta debido a su contenido de proteínas, fibras, aminoácidos esenciales y macro y micronutrientes, entre ellos: minerales, vitaminas C, B_1, B_2, PP, E y carotenoides. Como otros vegetales, esta hortaliza posee lipoxigenasas (LOX). Estas enzimas muestran su acción catalítica en reacciones de oxidación de ácidos grasos con el sistema 1,4-*cis*,*cis*-pentadieno, generando hidroperóxidos con dienos conjugados como productos primarios, destacándose entre sus sustratos específicos los ácidos linoleico y linolénico (Baysal y col., 2007). La inducción de la oxidación de ácidos grasos poliinsaturados catalizada por esta enzima, constituye un tema de interés para los tecnólogos alimentarios puesto que los radicales libres intermediarios pueden reaccionar con compuestos valiosos, tales como: vitaminas, pigmentos, aminoácidos, proteínas y polifenoles, otros ácidos grasos, reduciendo la calidad de las materias primas y alimentos (Krzysztof y col., 2012). Por ello, se utilizan diferentes métodos para inactivar o reducir su actividad, entre los cuales el más utilizado es el escaldado. Éste es un tratamiento térmico de corta duración que permite preservar la calidad del vegetal tratado (Fennema, 2000).

En el escaldado, las variables de proceso son el tiempo y la temperatura, y una de la variable dependiente estudiada es la actividad enzimática. Generalmente, se utiliza la actividad de peroxidasa como indicador de efectividad. Sin embargo, esta enzima es termoresistente y está vinculada al pardeamiento de los alimentos. Por ello, en su lugar, se ha propuesto considerar la inactivación de LOX, que participa en el deterioro oxidativo, y es más termolábil (Barret y col., 1995).

Para realizar la optimización de un proceso o tratamiento, se puede utilizar la MSR, que puede definirse como un método estadístico que usa datos cuantitativos, obtenidos a partir de un diseño experimental apropiado, para determinar y resolver, simultáneamente, ecuaciones multivariadas (Montgomery, 2005). Estas ecuaciones pueden representarse como una superficie de respuesta y utilizarse para:

- Describir el modo en el cual las variables (factores) afectan la respuesta.
- Determinar la relación entre las variables.
- Determinar el efecto combinado de todas las variables ensayadas sobre la/las respuestas.

La MSR se puede aplicar utilizando varios paquetes estadísticos, entre ellos, Statgraphics, Minitab, Design Expert e Infostat con su vinculación a la plataforma R. En cualquier *software*, el primer paso es ajustar un modelo jerárquico para cada variable y verificar su calidad (Kuehl, 2006; Pulido y col., 2012; Montgomery, 2017).

Los objetivos planteados en este trabajo fueron: optimizar mediante MSR una situación problemática de la Ingeniería en Alimentos, el escaldado de vegetales y comparar las respuestas de una serie de paquetes estadísticos, para establecer sus ventajas y desventajas.

2 METODOLOGÍA

2.1. *Aislamiento de LOX de granos de choclo*

Se tomaron muestras de 10 g de choclos frescos, adquiridos en el mercado local. Éstas se homogeneizaron en 30 mL de buffer fosfato de sodio 0,05 M de pH 6,5 conteniendo 0,1 g de PVPP (polivinilpolipirrolidona). El homogenato se centrifugó a 10000 g durante 20 min, a 4° C, recolectándose el sobrenadante (extracto crudo) para las mediciones de actividad enzimática (Kaur y col., 1999).

2.2. *Determinaciones analíticas*

2.2.1. *Actividad enzimática*

Se preparó, en agua destilada, una solución stock 0,01 M de ácido linoleico 0,01 M en NaOH 1N y Tween 20. Antes del ensayo, la solucion stock se

diluyó hasta una concentración de 2 mM con buffer fosfato (pH 7) 0,2 M y se burbujeó aire durante 10 min; ésta constituye la solución de sustrato. El ensayo se realizó agregando 100 µL de extracto crudo a 3 mL de la solución sustrato a 25 °C, leyéndose la absorbancia a 234 nm.

2.2.2. *Evaluación de la actividad enzimática*

La actividad catalítica se determinó en función de la formación de hidroperóxidos conjugados resultantes de la oxidación de ácido linoleico (AL). Para ello, se midió la absorbancia a 234 nm. Una unidad de actividad LOX se define como un aumento en la absorbancia a 234 nm de 0,001 min^{-1}, para un paso óptico de 1 cm a 25 °C. Para la LOX, la actividad se expresó como unidades de actividad por gramo de muestra (UAg^{-1}).
El porcentaje de inhibición (%Inh) de LOX se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$\%Inh=\frac{(A_0-A)}{A_0}*100 \quad (1)$$

donde, A_0 es la actividad de LOX del extracto crudo y A es la correspondiente a cada relación temperatura-tiempo.
La inactivación de LOX se determinó de acuerdo al reporte de Manohan y Chen Wai (2012), que calcularon la constante de velocidad de inactivación térmica *k* a partir de la pendiente del modelo de primer orden dado por la siguiente ecuación:

$$\log\left(\frac{A_0}{A}\right)=\frac{kt}{2{,}303} \quad (2)$$

Dónde: *k* es la constante de velocidad de inactivación térmica, A_0 es la actividad inicial y A es la actividad después del calentamiento en el tiempo t.

2.3. *Escaldado, Tratamiento estadístico y modelado matemático*

El proceso de escaldado por inmersión en agua caliente se llevó a cabo en un recipiente de acero inoxidable en el que se sumergió los granos de choclo durante los tiempos preestablecidos, se extrajeron del baño y se secaron con papel tissue para eliminar el agua superficial. Este procedimiento se realizó por triplicado. Se conservó una muestra testigo sin procesar.
Se aplicó la metodología de superficie respuesta (MSR) para establecer las condiciones óptimas de escaldado. Para ello, en base a la bibliografía (Pulido y col., 2012), se empleó un Diseño Central Compuesto (DCC) centrado en las caras, que estima la superficie de respuesta cuadrática a partir de la cual se pueden determinar los niveles del factor para minimizar la actividad catalítica. En el modelo seleccionado, se utilizaron dos factores para la optimización, la temperatura de escaldado (X_1) y el tiempo de escaldado (X_2) como variables independientes, mientras que la variable dependiente, fue la actividad de LOX. En la Tabla 1 se muestra el rango experimental de las variables independientes. La matriz de diseño y de combinaciones posibles se muestra en Tabla 2. Se realizaron 11 corridas con tres réplicas del punto central. Los efectos de la variabilidad no explicada en la respuesta observada debido a factores desconocidos, se minimizaron aleatorizando el orden de los experimentos. Se calculó la media y la desviación estándar de los datos obtenidos.
La evaluación de la significancia estadística de los tratamientos para la construcción del ANOVA se realizó mediante el uso del programa INFOSTAT.
El modelado se realizó empleando el paquete estadístico DESIGN EXPERT 7.0.0 y los programas STATGRAPHICS versión 2017 e INFOSTAT versión 2018. Para la optimización se utilizó DESIGN EXPERT y STATGRAPHICS. Los *software* empleados corresponden a versiones gratuitas para estudiantes.

Tabla 1. Variables de proceso de blanqueo de granos de choclo y niveles utilizados en el diseño central compuesto con centros en las caras para K = 2

Variables Independientes	Código	Niveles de las variables		
		-1	0	1
Temperatura (°C)	X_1	80	90	100
Tiempo (min)	X_2	4	6,5	9

Tabla 2. Matriz de diseño y de combinaciones de variables en corridas experimentales

Número de corrida	Códigos		Valores	
	$T(X_1)$	$t(X_2)$	T (°C)	t (min)
1	-1	-1	80	4
2	+1	-1	100	4
3	-1	+1	80	9
4	+1	+1	100	9
5	-1	0	80	6,5
6	+1	0	100	6,5
7	0	-1	90	4
8	0	+1	90	9
9	0	0	90	6,5
10	0	0	90	6,5
11	- 0	0	90	6,5

3 RESULTADOS

En la Fig. 1 se presenta la actividad residual de

LOX de granos de choclo luego de aplicar diferentes combinaciones de tiempo-temperatura de blanqueo.

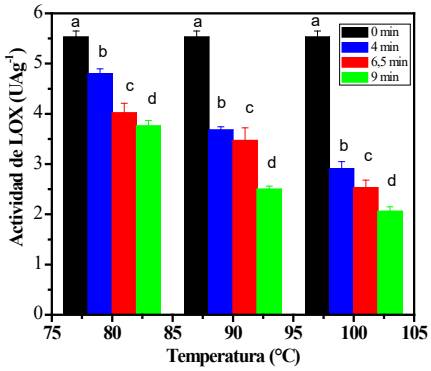


Figura 1: Efecto de diferentes combinaciones de tiempo-temperatura sobre la efectividad de blanqueo en granos de choclo

La actividad catalítica de LOX, en granos de choclo fresco, fue de 5,53 UAg^{-1}. Este valor disminuyó después del blanqueo, siendo la actividad residual más baja de 2 UAg^{-1} (un 37% del valor de control) usando un tratamiento a 100 °C durante 9 min. Estos resultados son muy próximos a los reportados por Theerakulkait y Barret (1995) y Wiseman y col. (1988), quienes informaron que LOX se inactiva manteniendo la temperatura a 93 °C durante 6 a 9 min; mientras que para lograr la inactivación de peroxidasa requirieron 18 a 20 min. Barret y col. (2000) encontraron que no hubo diferencia significativa en las actividades de LOX en maíz blanqueado durante 4, 6 y 8 min a 100 C; tampoco observaron cambios significativos en los caracteres organolépticos para los distintos tiempos. Por el contrario, si la muestra vegetal se somete a blanqueo por períodos tan largos como los necesarios para inactivar la peroxidasa, se observan grandes pérdidas de los caracteres organolépticos y compuestos nutritivos (Gonçalves y col., 2010).

3.1. *Desarrollo de la MSR mediante el software DESING EXPERT 7.0.0*

Los datos experimentales codificados se ajustaron a modelos lineales, cuadráticos y cúbicos, calculando la importancia de la regresión, la falta de ajuste y los coeficientes de determinación ajustados (R^2aj) y predichos (R^2pr). El resumen de este análisis se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Configuración de parámetros de los modelos matemáticos estudiados para el escaldado de granos de choclo.

Modelos	p-valor	Lack of Fit p-value	Ajustado R^2	Predicho R^2
Lineal	< 0,0001	0,6653	0,9235	0,9002
2FI	0,4791	0,6327	0,9190	0,9017
Cuadrático	0,4503	0,5968	0,9176	0,7923
Cúbico	0,8000	0,3123	0,8816	-1,1679

Para la hortaliza estudiada, se seleccionó el modelo cuadrático ya que mostró una mayor significación o idoneidad de la regresión ($p < 0,05$), menor falta de ajuste ($p > 0,05$) y mayores coeficientes de determinación.

Dicho modelo se representa mediante la ecuación de ajuste:

$$Y = \beta_0 + \sum\beta_i X_i + \sum\beta_{ii} (X_i)^2 + \sum\beta_{ij} X_i X_j \quad (3)$$

Donde Y representa la variable respuesta (actividad de LOX, (UAg^{-1})), β_0 es el coeficiente de interceptación, β_i es el coeficiente del efecto lineal, β_{ii} es el coeficiente del efecto cuadrático y β_{ij} es el coeficiente del efecto interacción. La temperatura de escaldado (X_1) y el tiempo de escaldado (X_2)

Según los resultados del análisis estadístico, la temperatura ($p = 0,0030$) y el tiempo ($p = 0,0028$) mostraron una influencia significativa en la actividad LOX de choclo; siendo el modelo matemático completo:

$$\mathbf{Y = +17,9626 - 0,2131\ X_1 - 0,1019\ X_2 + 0,0035\ X_1 * X_2 + 0,0006\ (X_1)^2 - 0,0325\ (X_2)^2}$$

El comportamiento catalítico de LOX en función del tiempo y la temperatura del proceso ($R^2 = 0,9999$) se presenta en la Fig. 2

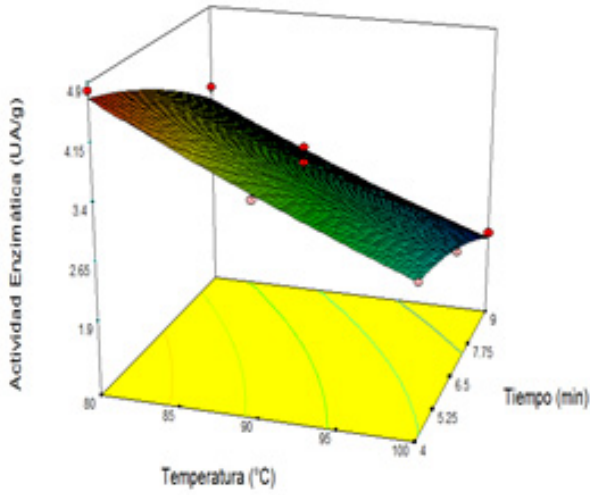


Figura 2: Superficie respuesta basada en el modelo ajustado para la actividad LOX de granos de choclo en función de las condiciones de escaldado obtenido utilizando el programa DESING EXPERT

Los valores óptimos para el blanqueo se calcularon a partir de la ecuación de ajuste. La actividad más baja se midió cuando los granos se escaldaron a 100 °C durante 9 minutos. Las diferencias observadas con respecto a otras investigaciones de Barrett (2000) y Morales (2002) pueden ser consecuencia del efecto de la matriz biológica compleja y su forma y, probablemente, debido a diferencias en el contenido de humedad de las muestras.

La optimización se realizó considerando la termorresistencia de LOX en granos de choclo y la combinación tiempo-temperatura que provoque las menores pérdidas de humedad, azúcares, proteínas y el menor número de granos incompletos de acuerdo con lo reportado por Szymanek y col. (2020). Esta combinación es cercana a la utilizada para el escaldado utilizando peroxidasa como indicador de eficacia del proceso (Kachhadiya y col., 2018).

Para optimizar las condiciones de blanqueo de manera que la actividad residual sea mínima, se aplicó la función de deseabilidad (Pulido y col., 2012). Esta función permitió establecer los valores óptimos de las variables independientes que se consideran influyentes en el proceso de escaldado. La optimización y conclusiones obtenidas sólo tienen validez dentro de la región de operabilidad que considera todas las combinaciones posibles de los niveles de los factores, en los cuales el proceso puede ser operado, y está delimitado por los rangos de experimentación utilizados para cada factor.

En la Fig. 3 se muestra la gráfica de contorno para la función deseabilidad en términos de las variables del proceso tiempo y temperatura de escaldado para la hortaliza estudiada. Esta gráfica muestra que el óptimo se encuentra próximo a 90 °C y 4 min para la hortaliza estudiada. Estos valores corresponden a una deseabilidad de 0,58.

A continuación, se realizó la verificación experimental de los valores de la respuesta predicha llevando a cabo los experimentos por triplicado en dichas condiciones óptimas. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4.

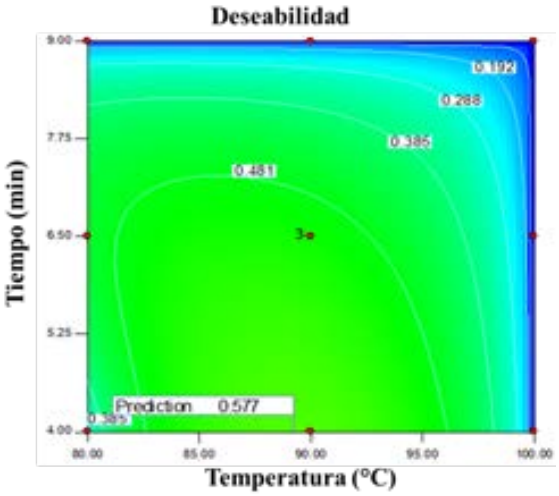


Figura 3: Comportamiento de la función de deseabilidad para granos de choclo en el óptimo se encuentra próximo a 90 °C y 4 min. Los puntos rojos en la gráfica corresponden a los datos experimentales.

Tabla 4. Comparación entre valores de variables dependientes predichas y experimentales a valores óptimos de variables independientes.

Comprobación experimental de los valores de respuesta predichos por los modelos ajustados	
Variable analizada	Actividad de LOX de granos de choclo(UAg^{-1})
Valor predicho	$(3,76 \pm 0,15)^a$
Intervalo de confianza 95%	3,61 - 3,81
Valor experimental	$(3,64 \pm 0,025)^a$

Los valores predichos y los experimentales se expresan como medias ± desviaciones estándar, para n=3. Las letras diferentes (a) en las filas representan valores medios estadísticamente diferentes ($p<0,05$).

Se observó concordancia entre los valores predichos y los valores experimentales, es decir no se encontraron diferencias significativas entre ellos. Esto demuestra que los modelos ajustados cuentan con elevado potencial predictivo; y que los niveles de los factores encontrados como óptimos efectivamente lo son.

3.2. *Desarrollo de la MSR mediante el software STATGRAPHICS versión 2017*

A partir de los resultados obtenidos de los distintos experimentos fue posible analizar, a través del diagrama de Pareto (Fig. 4) correspondiente a la respuesta, los factores más influyentes en el proceso. En este diagrama se observan los estimados en orden decreciente de importancia dado por el valor absoluto del efecto que debe ser mayor al valor medio que asigna el modelo (t-value), y superior al límite de Bonferroni.

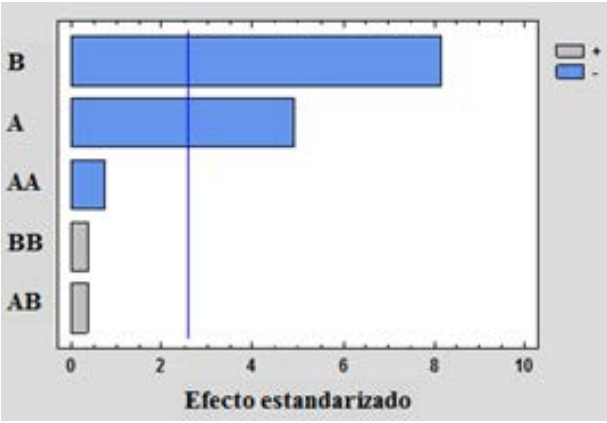


Figura 4: Influencia de los distintos factores sobre la actividad de LOX de granos de choclo.

Luego de probar la significancia del modelo, se realizó la optimización para obtener los valores mínimos de actividad de LOX mediante un diseño experimental de superficie respuesta (DCC centrado en las caras). La ecuación del modelo ajustado es:

$$\mathbf{Y= +17,7187 - 0,2107\ X_1 - 0,1222\ X_2 + 0,0006\ (X_1)^2 - 0,0195\ (X_2)^2}$$

A continuación, se muestran los gráficos de superficie y de contorno de la respuesta estimada (Fig. 5 y 6).

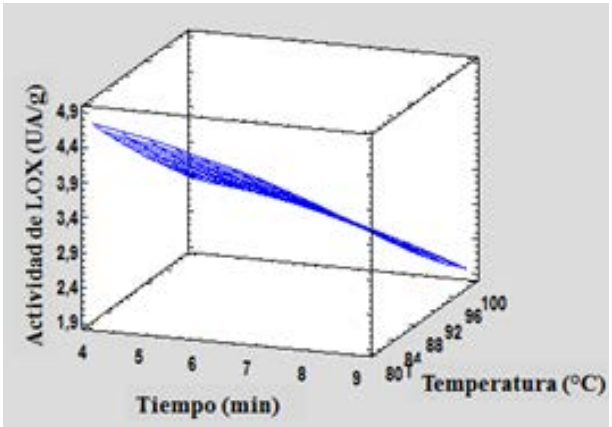


Figura 5: Superficie de respuesta de la actividad de LOX de granos de choclo vs. Tiempo y temperatura de escaldado obtenido mediante el programa STATAGRAPHIC

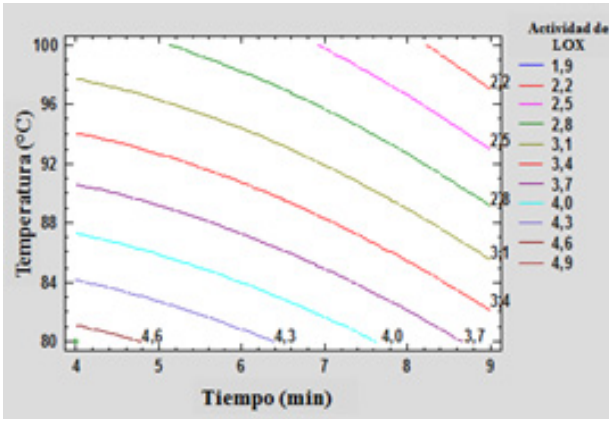


Figura 6: Contorno de la superficie de respuesta de la actividad de LOX de granos de choclo

Se calcularon los valores de Actividad de LOX usando el modelo ajustado. En la Tabla 5 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 5. Resultados Estimados para Actividad de LOX

Valores Observados	Valores Ajustados	Inferior 95,0% para Media	Superior 95,0% para Media
3,50	3,36	3,03	3,70
3,20	3,36	3,03	3,70
4,02	4,27	3,81	4,74
3,68	3,75	3,29	4,22
2,06	1,99	1,41	2,58
3,70	3,36	3,038	3,70
2,50	2,73	2,26	3,19
3,76	3,59	3,01	4,18
2,53	2,58	2,11	3,05
4,80	4,71	4,13	5,29
2,91	2,92	2,34	3,51

Los valores obtenidos demuestran que el modelo cuenta con elevado potencial predictivo. Luego del análisis se procedió a la optimización en el rango de los factores estudiados, indicando que la mínima actividad de LOX 3,59 (UAg^{-1}) para una deseabilidad del 0,52 se logra a 90°C y 4 min de escaldado.

3.3. Desarrollo de la MSR mediante el software INFOSTAT versión 2018

El uso de este software permite encontrar el modelo matemático que ajuste a los datos experimentales mediante un análisis de regresión. Se realiza el ajuste

a un polinomio de segundo grado, con interacciones. A través del ANOVA se analiza la significancia del modelo y se verifican los supuestos.
La ecuación de ajuste se describe a continuación acompañada de su gráfica de superficie (Fig.7):

$$\mathbf{Y= +17,72– 0,21\ X_1 – 0,12\ X_2+ 0,002\ X_1 * X_2 + 0,0006\ (X_1)^2- 0,019\ (X_2)^2}$$

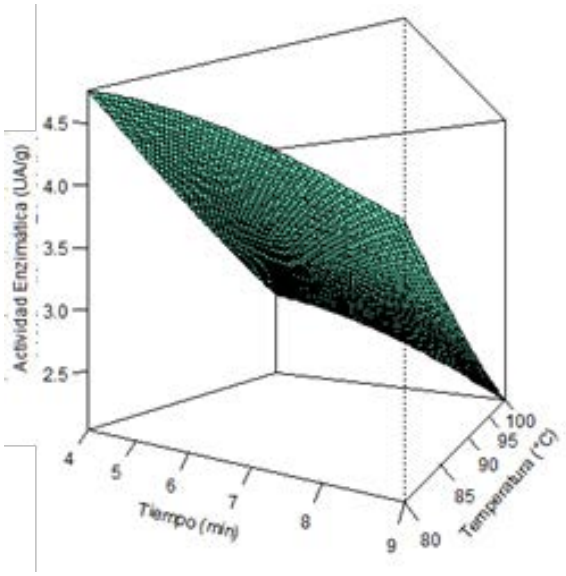


Figura 7: Superficie de respuesta de la actividad de LOX de granos de choclo vs. tiempo y temperatura obtenido mediante el programa Infostat.

La MSR consiste en tres pasos clave: Diseño, Modelización y Optimización (Pulido y col., 2012, Goicoechea, 2018). Es decir, se elige un diseño experimental que permita obtener medidas adecuadas y confiables de la variable de interés, se determina un modelo matemático que se ajuste a los datos obtenidos (para ello se deben hacer pruebas estadísticas que indiquen que el modelo es adecuado) y por último encontrar los niveles de los factores de entrada que generan la respuesta óptima (máximo o mínimo). Con respecto a los programas empleados, INFOSTAT cubre tanto las necesidades elementales para la obtención de estadísticas descriptivas y gráficos para el análisis exploratorio, como métodos avanzados de modelación estadística y análisis multivariado. Una propiedad del programa es la habilidad de Infostat de conectarse con R, una plataforma de desarrollo de algoritmos estadísticos de dominio público de gran crecimiento. Esto permite el uso de la MSR en Infostat, sin embargo, este *software* no cuenta con una herramienta que permita realizar una optimización. Por otro lado, los *software* DESIGN EXPERT y STATGRAPHICS son los que cumplen con los tres aspectos que requiere la metodología estudiada. El programa DESIGN EXPERT proporciona un diseño de experimentos altamente eficiente, ya que requiere la selección del modelo y la introducción de los datos experimentales, para visualizar todos los análisis y gráficos que facilitan la interpretación de los resultados. En el caso del STATGRAPHICS, el manejo del *software* requiere tener conocimientos previos para vincular la tabla de datos experimentales con los cálculos y análisis a realizar.

4 CONCLUSIONES

La MSR es una estrategia experimental y de modelado que permite encontrar condiciones de operación óptimas de un proceso, implica tres aspectos: diseño, modelo y técnica de optimización. De acuerdo a los programas empleados, el *software* DESIGN EXPERT es el más versátil, de fácil uso y manejo.
Los valores experimentales de la actividad residual de LOX de granos de choclos están de acuerdo con los valores predichos por el modelo. Por lo tanto, el diseño central compuesto centrado en las caras puede usarse como un modelo matemático con un elevado potencial predictivo. El uso de LOX como indicador de la eficacia del escaldado de muchos vegetales permitiría acortar el tiempo de tratamiento, de manera que el proceso sería más eficiente en cuanto a los requerimientos de tiempo y energía.

5 REFERENCIAS

Abdullah, R., H. Qaiser, T. Iftikhar, A. Kaleem, M. Iqtedar, F. Saleem, I. Haq, Application of response surface methodology for statistical optimization of lipase production by Penicillium sp. employing solid state fermentation, *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 17(3), 863-875, 2018.
Barrett, D., E. Garcia, G. Russell, E. Ramirez, A. Shirazi, Blanch time and cultivar effects on quality of frozen and stored corn and broccoli, *Journal of Food Science*, 65, 534–540, 2000.
Başkaya-Sezer, D., A. Demirdöven, The effects of microwave blanching conditions on carrot slices: optimization and comparison, *Journal of food processing and preservation*, 39(6), 2188-2196, 2015.
Baysal, T., A. Demirdöven, Lipoxygenase in fruits and vegetables: A review. *Enzyme and Microbial Technology*, 40, 491–496, 2007.
Box, G., K.. Wilson, On the experimental attainment of optimum conditions, *Journal of the royal statistical society: Series b (Methodological)*, 13(1), 1-38, 1951.
Dumitraşcu, L., E. Enachi, N. Stănciuc, I. Aprodu, Optimization of ultrasound assisted extraction of

phenolic compounds from cornelian cherry fruits using response surface methodology, *CyTA-Journal of Food*, 17(1), 814-823, 2019.
Fennema, O., Química de los Alimentos, Ed. Acribia, S.A. Zaragoza, España, 2000.
Goicoechea, H., Experimental Design. Fingerprinting Techniques in Food Authentication and Traceability, CRC Press, New York, 187-206, 2018.
Gonçalves, E., J. Pinheiro, M. Abreu, T. Brandão, C. Silva, (Daucus carota L.) peroxidase inactivation, phenolic content and physical changes kinetics due to blanching, *Journal of Food Engineering*, 97(4), 574–581, 2010.
Kachhadiya, S, N. Kumar, N. Seth, Process kinetics on physico-chemical and peroxidase activity for different blanching methods of sweet corn, *Journal Food Science Technology* , 55(12):4823–4832, 2018.
Kaur, C., S. Kumar, H.C. Kapoor, Heat Stability of Lipoxygenase and Peroxidase During Blanching of Vegetables, *Journal of Scientific and Industrial Research*, 58, 1005–1009, 1999.
Krzysztof, D., A. Siger, J. Czubinski, M. Nogala-Kałucka, E. Lampart-Szczapa, The interactions between rapeseed lipoxygenase and native polyphenolic compounds in a model system, *Journal of American Oil Chemists' Society,* 89, 379–387, 2012.
Kuehl, R. O., Diseño de experimentos: principios estadísticos para el diseño y análisis de investigaciones. 2da Ed. México: Thomson, 666p, 2006.
Manohan, D., W. Chen Wai, Characterization of polyphenol oxidase in sweet potato (Ipomoea batatas L.), *Journal for the advancement of science & arts*, 3, 14-31, 2012.
Montgomery, D. C., Diseño y análisis de experimentos. Limusa Wiley. 600p, 2005.
Montgomery, D., Design and analysis of experiments. John Wiley & sons.688p, 2017.
Morales-Blancas, E. F., Chandia, V. E., Cisneros-Zevallos, L., Thermal inactivation kinetics of peroxidase and lipoxygenase from broccoli, green asparagus and carrots, *Journal of Food Science*, 67(1), 146–154, 2002.
Nisar, K., R. Abdullah, A. Kaleem, M. Iqtedar, M., Application of response surface methodology for statistical optimization of carboxymethylcellulase by *Thermomyces dupontii* TK-19 using submerged fermentation, *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 19(2), 903-911, 2020.
Ockuly, R., M. Weese, B. Smucker, D. Edwards, L. Chang, Response surface experiments: A meta-analysis, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 164, 64-75, 2017.
Pulido, H., R. De la Vara Salazar, P. González, C. Martínez, M. Pérez, Análisis y diseño de experimentos. New York, NY, USA, McGraw-Hill. 561p, 2012.
Shukla, R., A. Mishra, An experimental study and mathematical modeling of microwave drying of green peas, *International Journal of Advances in Engineering Technology*, 6(6), 2618, 2014.
Szymanek, M.; A. Dziwulska-Hunek, W. Tanaś, Influence of Blanching Time on Moisture, Sugars, Protein, and Processing Recovery of Sweet Corn Kernels, *Processes*, 8, 340, 2020.
Theerakulrait C.; D. Barret, Quality indicators in blanched, frozen, stored vegetables, *Food Technology*, 49, 62-65, 1995.
Wiseman, J., M. Skoog, C. Clapp, Activity of soybean lipoxygenase in the absence of lipid hydroperoxide, *Biochemistry*, 27(24), 8810–8813, 1988.

Estudio del comportamiento de vigas de hormigón pretensado reforzado con fibras de acero (HPRF)

Siles, María[1]; Almenar, Martín[1]; Isla, Facundo[1,2]; Luccioni, Bibiana[1,2]

(1) Instituto de Estructuras, Facultad de Ciencias Exactas Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán.
mariasiles96@hotmail.com; malmenar@herrera.unt.edu.ar

(2) Conicet.
fisla@herrera.unt.edu.ar; bluccioni@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN

La adición de fibras al hormigón mejora el comportamiento a cortante de un elemento estructural. Sin embargo, hay una mayor cantidad de trabajos científicos referidos a la evaluación de los efectos de las fibras en elementos estructurales de hormigón armado que en elementos pretensados. En este trabajo se estudia numéricamente el comportamiento de vigas de HPRF ensayadas a corte por otros investigadores, a fin de evaluar la contribución de las fibras. El objetivo es contribuir al diseño eficiente de este tipo de vigas. Para ello, se modela un ensayo de corte y se calibran los parámetros del modelo constitutivo, comparando los resultados numéricos con los experimentales. Luego, se utiliza el modelo numérico para reproducir el comportamiento de una viga de HPRF ensayada experimentalmente.

ABSTRACT

The addition of fibers to concrete improves the shear behavior of structural elements. However, there is a greater amount of scientific works related to the evaluation of fibers' effect on reinforced concrete structural elements than in prestressed elements. The behavior of SFRPC beams shear-tested by other researchers is numerically studied in this paper, in order to evaluate the contribution of the fibers. The objective is contributing to the efficient design of this type of beams. For that purpose, a shear test is modeled and the constitutive model parameters are calibrated comparing the numerical and experimental results. Then, the numerical model is used to reproduce the behavior of an experimentally tested SFRPC beam.

Palabras claves: Hormigón Reforzado con Fibras - Hormigón Pretensado - Modelos Numéricos

KEYWORDS: STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE - PRESTRESSED CONCRETE - NUMERICAL MODELS

1 INTRODUCCIÓN

El hormigón pretensado es conocido por tener un mejor desempeño estructural si se compara con el hormigón armado. La utilización de elementos de hormigón pretensado es conveniente en muchas construcciones, ya que permite lograr la resistencia adecuada en estructuras que necesitan un desarrollo importante en longitud como, por ejemplo, los tramos de un puente. En muchos casos, el uso de pretensado podría evitar la falla por corte que comúnmente ocurre con un colapso repentino.

Según numerosos estudios, la adición de fibras en vigas de hormigón armado tradicional mejora significativamente su comportamiento al corte. Dicha afirmación no puede ser extrapolada directamente al comportamiento de vigas de hormigón pretensado, dado que, si bien la mayoría de los trabajos coinciden en el efecto beneficioso de la adición de fibras de acero, también se encuentran trabajos que documentan un efecto contraproducente.

Esto muestra la necesidad, no solo de seguir investigando en la temática, sino también de un análisis más profundo de los resultados obtenidos hasta el momento. Una alternativa para realizar dicho análisis es la utilización de herramientas numéricas de simulación. Si bien los modelos existentes tienen cierta dificultad para simular adecuadamente la respuesta al corte tanto en elementos de hormigón armado como de hormigón pretensado, resulta de mucho valor el estudio de los mismos para evaluar el rango de validez en el que son capaces de reproducir la respuesta experimental de ensayos de laboratorios y para proponer mejoras en los modelos o en la calibración que ayuden a ampliar dicho rango.

Una vez conocidas estas limitaciones, la modelación numérica permite la simulación de distintas y variadas situaciones que resultan costosas y difíciles de estudiar experimentalmente.

El objetivo general es contribuir al diseño eficiente de vigas de hormigón pretensado reforzado con fibras de acero. Se propone para ello, estudiar numéricamente el comportamiento de vigas de hormigón pretensado reforzado con fibras de acero ensayadas por otros investigadores a los efectos de evaluar la contribución de las fibras.

Con este fin, el trabajo desarrollado tiene los siguientes objetivos parciales: 1) obtener numéricamente la respuesta a nivel material de probetas de hormigón reforzado con fibras sometidas a acción de corte mientras soportan una carga de precompresión utilizando ensayos experimentales de la bibliografía; 2) obtener numéricamente la respuesta de vigas de hormigón pretensado reforzado con fibras de acero ensayadas por otros investigadores.

En términos generales, los modelos constitutivos para Hormigón Reforzado con Fibras (HRF) pueden clasificarse, según la escala en la que están definidos. En los macro-modelos se representa al material compuesto como un único material con propiedades promedio. Las leyes constitutivas se obtienen a partir de un gran número de ensayos de laboratorio (Isla, 2014).

En este trabajo, las simulaciones numéricas se realizaron por medio del programa Ansys Workbench, utilizando el macro-modelo de Menetrey-Willam.

2 MODELO CONSTITUTIVO

Para reproducir el comportamiento del hormigón se utilizó un modelo elastoplástico, en el cual, la relación entre el tensor de tensiones σ, el tensor de deformaciones ε y el tensor de deformaciones plásticas ε^{pl} queda dada por:

$$\sigma = C : (\varepsilon - \varepsilon^{pl}), \tag{1}$$

Donde, C es el tensor constitutivo elástico de cuarto orden. Para un material elástico, lineal e isótropo como se puede considerar el hormigón en la macro escala, dicho tensor queda determinado mediante el módulo de Young E y el coeficiente de Poisson μ. El incremento de las deformaciones pláticas se calcula mediante la siguiente regla de flujo:

$$\dot{\varepsilon}^{pl} = \dot{\lambda} \frac{\partial Q_{MW}}{\partial \sigma}, \tag{2}$$

Donde Q_{MW} es una función de potencial que se definirá posteriormente y λ es el multiplicador plástico. El multiplicador plástico puede ser determinado mediante las condiciones de carga y descarga que se definen a continuación:

$$f_{MW} \leq 0, \quad \dot{\lambda} \geq 0, \quad f_{MW}\,\dot{\lambda} = 0, \tag{3}$$

Donde f_{MW} es la superficie de fluencia. Este modelo utiliza la superficie de fluencia de Menetrey-Willam (1995), que se esquematiza en la Fig. 1. Dentro de dicha superficie, el material tiene un comportamiento elástico, lineal e isótropo. Al alcanzar la misma, el material comienza a experimentar deformaciones plásticas.



Figura 1. Superficie de Fluencia de Menetrey-Willam.

La superficie de fluencia se define como:

$$f_{MW} = \frac{c_2}{c_3}\left[\sqrt{\frac{2}{3}}I_1 + r\sqrt{2J_2}\right] + 2J_2 - \frac{1}{c_3}, \quad (4)$$

Donde, I_1 es el primer invariante de σ y J_2 el segundo invariante del tensor desviador de tensiones S. En la ecuación (4), c_2, c_3 y r dependen de parámetros del material y de las funciones de endurecimiento y ablandamiento:

$$c_2 = \frac{1}{\sqrt{6}}\left[\frac{1}{R_c} - \frac{1}{R_b} + \frac{\overline{R_b} - \overline{R_t}}{R_c^2}\right], \quad (5)$$

$$c_3 = \frac{3}{2}\frac{1}{R_c^2}, \quad (6)$$

$$r = \frac{4(1-e^2)\cos^2\theta + (2e-1)^2}{2(1-e^2)\cos\theta + (2e-1)\sqrt{4(1-e^2)\cos^2\theta + 5e^2 - 4e}}, \quad (7)$$

con:

$$\overline{R_t} = R_t\Omega_{tc}, \quad \overline{R_c} = R_c\Omega_c, \quad \overline{R_b} = R_b\Omega_c, \quad (8)$$

$$\Omega_{tc} = \begin{cases} \Omega_t & \kappa_c \le \kappa_{cm} \\ \Omega_t\Omega_c & \kappa_c > \kappa_{cm} \end{cases}, \quad (9)$$

$$\epsilon = \frac{\overline{R_t}}{\overline{R_b}} * \frac{\overline{R_b}^2 - \overline{R_c}^2}{\overline{R_c}^2 - \overline{R_t}^2}, \quad e = \frac{1+\epsilon}{2-\epsilon}, \quad (10)$$

$$\cos 3\theta = \frac{3\sqrt{3}}{2}\frac{J_3}{\sqrt{J_2^3}}, \quad (11)$$

Donde: R_t, R_c y R_b son las resistencias a tracción, compresión y biaxial respectivamente. Ω_t y Ω_c son las funciones de endurecimiento y ablandamiento, las cuales dependen de κ_t y κ_c que son las variables de endurecimiento en tracción y compresión respectivamente. J_3 es el tercer invariante del tensor desviador de tensiones S.

El incremento de las variables de endurecimiento puede calcularse como:

$$\dot{\kappa}_c = \frac{\alpha_c}{R_c}\sigma : \dot{\varepsilon}^{pl}, \quad (12)$$

$$\dot{\kappa}_t = \frac{\alpha_t}{R_t}\sigma : \dot{\varepsilon}^{pl}, \quad (13)$$

Donde, $\sigma : \dot{\varepsilon}^{pl}$ representa el incremento del trabajo plástico. α_c y α_t son las funciones de peso en compresión y tracción respectivamente definidas como:

$$\alpha_c = 1 - \alpha_t, \quad (14)$$

$$\alpha_t = \begin{cases} 0 & \tan\alpha < -2 \\ \frac{1}{1+e^{-10\tan\alpha}} & -2 \le \tan\alpha \le 2 \\ 1 & \tan\alpha > -2 \end{cases}, \quad (15)$$

$$\tan\alpha = \frac{I_1}{\sqrt{J_2}}. \quad (16)$$

La función de endurecimiento y ablandamiento en compresión se define como:

$$\Omega_c = \Omega_{ci} + (1 - \Omega_{ci})\sqrt{2\frac{\kappa_c}{\kappa_{cm}} - \frac{\kappa_c^2}{\kappa_{cm}^2}},$$

para $\kappa_c < \kappa_{cm}$, (17)

$$\Omega_c = 1 - (1 - \Omega_{cu})\left(\frac{\kappa - \kappa_{cm}}{\kappa_{cu} - \kappa_{cm}}\right)^2,$$

para $\kappa_{cm} < \kappa_c < \kappa_{cu}$, (18)

$$\Omega_c = \Omega_{cr} + (\Omega_{cu} - \Omega_{cr})e^{\left(2\frac{\Omega_{cu}-1}{\kappa_{cu}-\kappa_{cm}}\frac{\kappa_c - \kappa_{cu}}{\Omega_{cu}-\Omega_{cr}}\right)},$$

para $\kappa_c > \kappa_{cu}$, (19)

Donde κ_{cm} y κ_{cu} son parámetros del material que corresponden al valor de la variable de endurecimiento en compresión en la transición de sus distintas ramas. En particular κ_{cm} es el valor de la variable de endurecimiento en compresión en el pico de la función Ω_c y se produce cuando $\Omega_c = 1$. Ω_{ci} es el valor inicial de Ω_c, Ω_{cu} es el valor correspondiente a κ_{cu} y Ω_{cr} es el valor que se tiene cuando κ_c tiente a infinito.

La función de endurecimiento y ablandamiento en tracción se define como:

$$\Omega_t = e^{-\frac{\kappa_c}{a_t}}, \quad (20)$$

$$a_t = \frac{g_{ft}}{R_t}, \quad (21)$$

$$g_{ft} = max\left(\frac{G_{ft}}{L_i}, \frac{R_t^2}{E}\right), \quad (22)$$

Donde G_{ft} es la energía de fractura en tracción. L_i es la longitud efectiva del elemento y debe determinarse de manera que se cumpla la siguiente ecuación:

$$\int_0^\infty \Omega_t\, d\kappa_t = \frac{g_{ft}}{R_t}. \quad (23)$$

La Fig. 2 muestra la forma típica de las funciones de endurecimiento y ablandamiento en tracción y compresión del hormigón. Dichas funciones pueden ser obtenidas a partir de ensayos de laboratorio en tracción y compresión uniaxial.

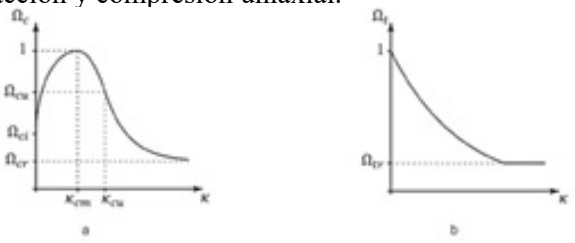


Figura 2. Funciones de endurecimiento y ablandamiento en (a) compresión y (b) tracción.

El modelo utiliza flujo no asociado. La función de potencial se define como:

$$Q_{MW} = 2J_2 + B_g\sqrt{2J_2} + C_g\frac{1}{\sqrt{3}}I_1, \quad (24)$$

$$B_g = \frac{2\bar{R}_c\tan\Psi - \sqrt{2}\bar{R}_t}{\sqrt{3}(1-\sqrt{2}\tan\Psi)}, \quad (25)$$

$$C_g = \frac{B_g}{\sqrt{2}} + \frac{2\bar{R}_t}{\sqrt{3}}. \quad (26)$$

Donde Ψ es el ángulo de dilatancia.
En resumen, se puede decir que el modelo cuenta con 3 juegos de parámetros que se deben definir:

- Parámetros Elásticos: E y μ.
- Parámetros de la Superficie de Fluencia y Función Potencial: R_t, R_c, R_b y Ψ.
- Parámetros de las funciones de endurecimiento y ablandamiento: κ_{cm}, κ_{cu}, Ω_{ci}, Ω_{cu}, Ω_{cr}, Ω_{tr} y G_{ft}.

3 REPRODUCCIÓN DEL ENSAYO DE CORTE JSCE MODIFICADO

El trabajo de investigación llevado a cabo por Diaz Fontdevila et al. (2021), muestra que el modelo propuesto por Menetrey-Willam es capaz de representar satisfactoriamente el comportamiento del HRF en corte. Sin embargo, en este trabajo se pretende simular la respuesta del HPRF ante solicitaciones de corte, por lo que el modelo se evaluó incluyendo el efecto de pretensado para demostrar que también es capaz de reproducirlo adecuadamente.
Para ello, se modeló el ensayo de corte directo JSCE (Japan Society of Civil Engineers) modificado, y se compararon los resultados numéricos con los valores experimentales expuestos por otros investigadores.
En dicho ensayo, el campo de tensiones se mantiene muy cercano al correspondiente a corte puro y, por lo tanto, resulta más fácil relacionar los resultados con la respuesta del material al corte.
Soetens (2015) utilizó para este ensayo un hormigón H50 con fibras de acero de alta resistencia con ganchos en los extremos (tensión de fluencia > 2000N/mm²). Empleó fibras de dos longitudes diferentes (60mm y 30mm) en combinación con un hormigón autocompactante y un hormigón tradicional. Los contenidos de fibras utilizados fueron 20, 40 y 60 kg/m³.
En la Fig. 3 se muestra un esquema de la configuración del ensayo.

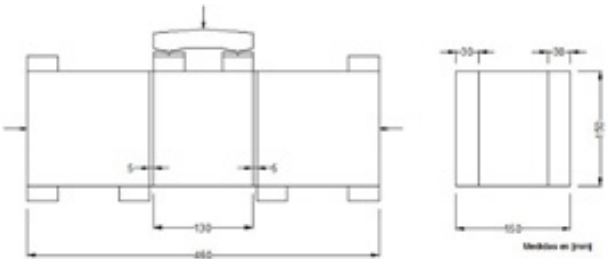


Figura 3. Geometría y condiciones de apoyo del ensayo JSCE modificado.

Para obtener planos de fisura predefinidos, se cortaron verticalmente entallas de 30mm de profundidad a ambos lados del prisma estándar. Por lo tanto, las dimensiones del plano de corte son 90x150mm².
Para investigar el efecto de la presión de confinamiento, se realizaron más modificaciones en la configuración del ensayo. Se aplicó una carga de compresión horizontal constante mediante un gato horizontal.
El modelo 3D utilizado para simular este ensayo se muestra en la Fig. 4. La cara del apoyo que está en contacto con la probeta tiene un contacto friccional, cuyo coeficiente de fricción es igual a 0.3, denominado apoyo (A). Mientras que la cara opuesta, se consideró como apoyo fijo, denominado apoyo (B). Además, el contacto entre la base derecha del dispositivo de carga y el apoyo correspondiente, se modeló sin fricción, denominado apoyo (C). En la Fig. 4 se pueden ver los apoyos (A), (B) y (C). En cuanto a las cargas, para lograr comprimir la probeta se aplicó una presión longitudinal sobre la sección transversal de la misma, y se aplicaron desplazamientos verticales en el borde superior del dispositivo de carga.
En la Fig. 4 se muestra la malla de elementos finitos utilizada. Se emplearon elementos sólidos de orden cuadrático definidos por hexaedros de 20 nodos y tetraedros de 10 nodos, donde cada nodo tiene 3 grados de libertad de desplazamientos. Se puede ver que en la cercanía del plano de falla el refinamiento de la malla aumenta.
En los puntos ubicados a media altura de la entalla izquierda, se midieron los desplazamientos en el eje vertical para poder calcular la diferencia entre ambos valores (desplazamiento vertical relativo entre esos puntos), y luego hacer un promedio con el valor obtenido en la cara posterior de la entalla. Lo miso se hizo en la entalla derecha y se promediaron los

valores. Estos puntos se indican en la Fig. 4.

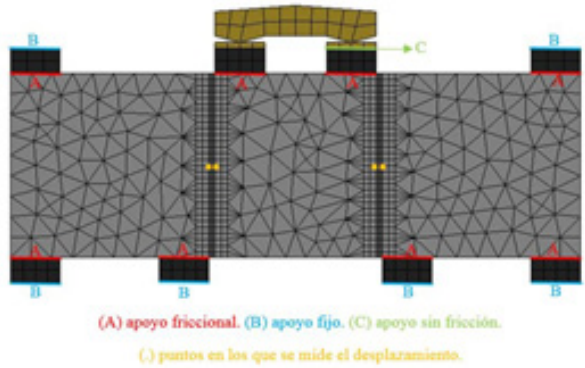


Figura 4. Modelo 3D utilizado.

Se realizó el ajuste de la respuesta experimental (sin la carga de compresión horizontal) del hormigón autocompactante sin fibras y con 40 kg/m^3 de fibras de acero de 60mm de longitud. Los parámetros calibrados se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros del modelo de HS y HRF40.

	HS	40kg/m^3
E [Mpa]	35000	35000
M	0.2	0.2
Rc [MPa]	50	50
Rt [MPa]	4.8	5.5
Rb [MPa]	58	58
ψ [°]	10	10
kcm	0.010	0.010
kcu	0.020	0.030
Ωci	0.33	0.33
Ωcu	0.7	0.99
Ωcr	0.15	0.20
Gft [N/m]	40	800
Ωtr	0.15	0.2

En la Fig. 5 se presentan las curvas tensión de corte-desplazamiento obtenidas.

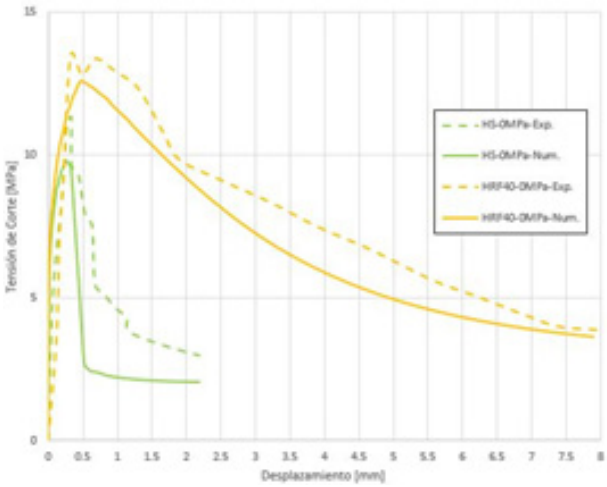


Figura 5. Curvas Tensión de corte-desplazamiento HS y HRF40.

Luego, en el modelo del HRF40 se introdujo una carga de precompresión de 5 y 10MPa, y se simularon los ensayos de corte.
Las Fig. 6 muestra las curvas tensión de corte-desplazamiento obtenidas y su comparación con los resultados experimentales (Soetens, 2015). Al aumentar las tensiones normales, se obtiene un aumento de las tensiones de corte en todo el rango de deslizamiento considerado.

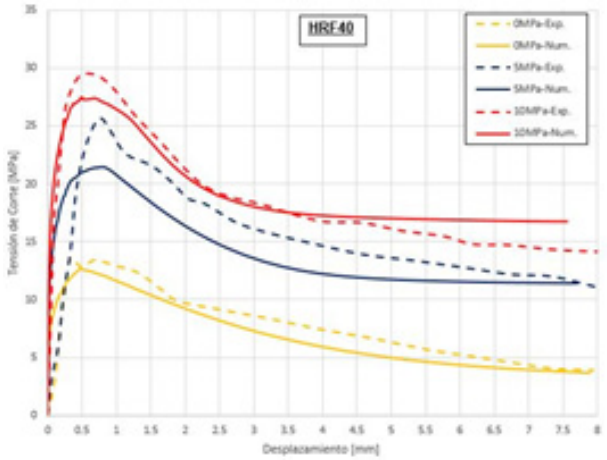


Figura 6. Respuesta al corte HPRF40.

En la Fig. 7 se presenta el mapa de deformaciones plásticas equivalente de una de las probetas. La falla generalizada del plano de la entalla, se presenta una vez que en la parte superior de la entalla se alcanzan tensiones de compresión (en dirección longitudinal) superiores al límite.



Figura 7. Mapa de deformaciones plásticas equivalentes. HRF40-5MPa. Deformada x1.

4 APLICACIÓN DEL MODELO PARA VIGAS DE HPRF

En esta sección se verificó si el modelo numérico es capaz de reproducir la respuesta de vigas de Hormigón Pretensado (HP) y HPRF realizadas por otros investigadores, cuya configuración conduce a una falla por corte. Para ello, se utilizaron los ensayos experimentales de Cho et al. (2009).

La geometría de las vigas ensayadas se ilustra en la Fig. 8 (Cho et al., 2009). En cada viga se utilizó un total de 6 cordones de pretensado de φ=12.7mm (ASTM A416, resistencia a tracción de 1860MPa, relajación normal). Se aplicó un pretensado inicial de 1303MPa a cada cordón. Una vez producidas las pérdidas de tensión, tanto las debidas al hormigón como las debidas al acero, el valor del pretensado efectivo fue de 1034MPa, por lo que la suma de todas las pérdidas fue de aproximadamente un 20%. Se utilizó acero no pretensado adicional (7 φ=25.4mm distribuidos en dos capas en la fibra inferior, y 2 φ=12.7mm en la fibra superior), con tensión de fluencia de 420MPa, para prevenir fallas prematuras por flexión.

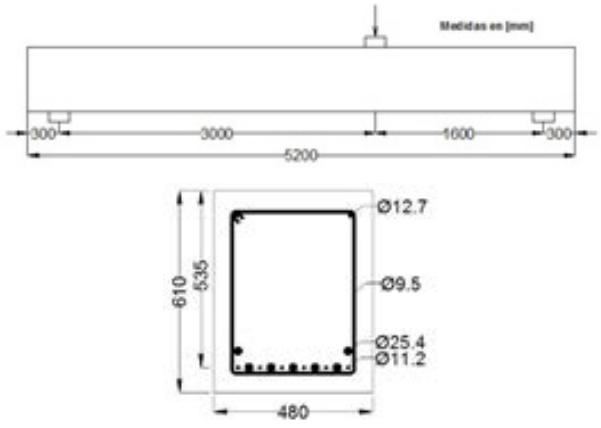


Figura 8. Geometría y condiciones de apoyo del ensayo.

El tramo más largo se reforzó con estribos de φ=9.5mm cada 200mm (Fig. 9) para asegurar que la falla por corte ocurriera en el tramo de corte bajo investigación. La relación entre la longitud del tramo de corte y la altura útil es igual a 3.

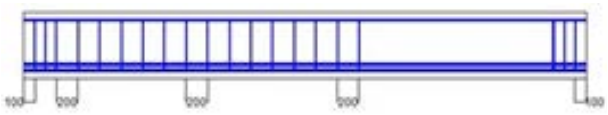


Figura 9. Disposición de armaduras.

Además, las fibras de acero utilizadas tenían extremos en forma de gancho, una relación de aspecto de 80 (l_f = 61mm, d_f = 0,76mm) y una resistencia a la tracción de 1048MPa. Se incorporó 60kg/m^3 de fibras.

El programa no brinda la posibilidad de modelar solo el cordón de pretensado, después añadir el hormigón y luego soltar el cordón; sino que se modela todo junto desde el comienzo. Entonces, para simular el efecto del pretensado, se introduce una variación de temperatura negativa en los cordones. Esto hace que los mismos tiendan a acortarse, pero el hormigón se lo impide. Finalmente para alcanzar el equilibrio, los cordones se traccionan y el hormigón se comprime, logrando así modelar el comportamiento del hormigón pretensado.

El trabajo experimental mostraba indicios de deslizamiento de la armadura, para tener en cuenta este efecto, se redujo un 25% el módulo elástico del acero. Es decir, se utilizó E=150GPa.

Para la resistencia especificada a la compresión del hormigón, f'_c, se utilizó un 80% del valor informado por los investigadores (63MPa), ya que surgió de ensayar probetas prismáticas.

Por otro lado, para evitar la concentración de tensiones en las caras externas de la viga, se agregó un bloque de hormigón con comportamiento elástico lineal en ambos extremos.

Por último, cabe señalar que, si bien cada uno de los cordones de pretensado es de φ=12.7mm, en el programa se modelaron barras con un diámetro equivalente de 11.2mm, que proporcionan el valor del área nominal correspondiente a ese cordón (98,71mm^2).

Se utilizaron elementos finitos lineales. Para el hormigón se utilizaron elementos sólidos hexaédricos de 8 nodos, mientras que para las armaduras se emplearon elementos de barra de 2 nodos. La vinculación entre los elementos de hormigón y los elementos de acero se especifica con la coincidencia de nodos entre ambos elementos, para que exista compatibilidad en los desplazamientos. Las Figs. 10 y 11 muestran las mallas de elementos finitos adoptadas.

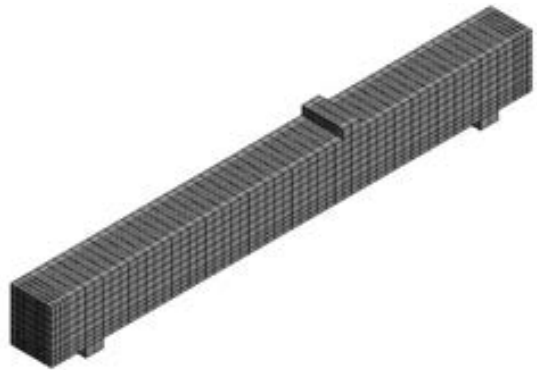


Figura 10. Malla de elementos finitos para el hormigón.

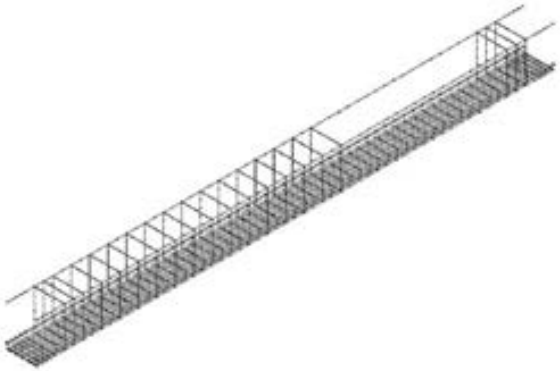


Figura 11. Malla de elementos finitos para las barras de acero.

En la Tabla 2 se indican los parámetros calibrados para el HP y para el HPRF.

Tabla 2. Parámetros del modelo de HP y HPRF.

	HP	HPRF
E [MPa]	35000	
μ	0.2	
Rc [MPa]	50	
Rt [MPa]	2	3
Rb [MPa]	58	
ψ [°]	6	
Kcm	0.0005	
Kcu	0.005	0.05
Ωci	0.4	
Ωcu	0.65	
Ωcr	0.05	0.5
Gft [N/m]	20	1200
Ωtr	0.05	0.5

El desplazamiento vertical se midió en la cara inferior de la sección de la viga donde se aplica la carga. Las curvas carga-desplazamiento obtenidas se muestran en la Fig. 12.

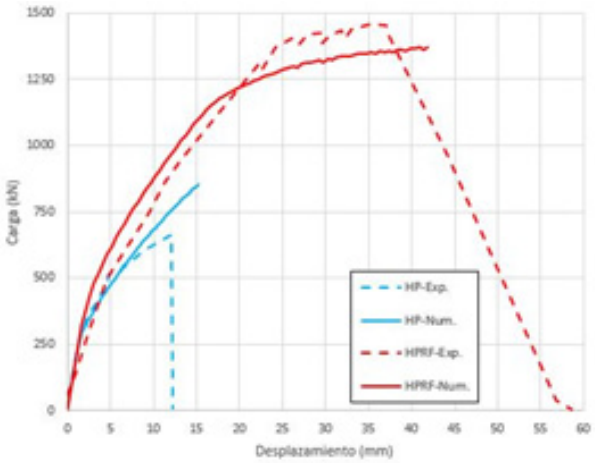


Figura 12. Curvas carga-desplazamiento del HP y HPRF.

Se puede considerar que los resultados numéricos reproducen satisfactoriamente los resultados experimentales.
En las Figs. 13 y 14 se presentan los mapas de deformaciones plásticas equivalentes que muestran de forma cualitativa, la localización de las fisuras.

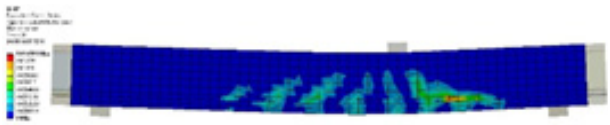


Figura 13. Mapa de deformaciones plásticas equivalentes del HP. Deformada x5.

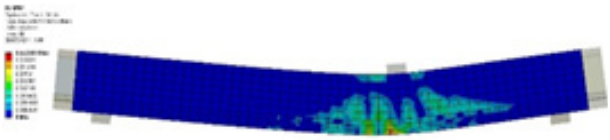


Figura 14. Mapa de deformaciones plásticas equivalentes del HPRF. Deformada x5.

Se puede observar en la Fig. 13 la falla característica por corte. Al agregar fibras (Fig. 14), se genera un patrón de fisuración más distribuido, debido a la acción de costura de las mismas, y el mecanismo de falla se aproxima más a la flexión.

5 CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos con la simulación numérica del ensayo de corte JSCE modificado, se puede decir que:

- El modelo numérico es capaz de reproducir satisfactoriamente el comportamiento a nivel material durante la falla por corte.
- Los valores experimentales muestran un incremento del valor de la carga pico al incorporar fibras. Dicho incremento se modela con una mayor resistencia a tracción.
- Se observa la relación entre la resistencia al corte y los puntos postpico de la función de endurecimiento y ablandamiento en compresión del hormigón (κ_{cu}, Ω_{cu} y Ω_{cr}), ya que dichos valores son mayores para el HRF40.

Según los resultados obtenidos con la simulación numérica del comportamiento de vigas de HP y HPRF ante falla por corte, se puede decir que:

- Se observa el efecto de la incorporación de fibras sobre la resistencia y ductilidad del hormigón ante esfuerzos de corte. La resistencia al corte de la viga de HPRF mejoró considerablemente mediante la adición de fibras de acero, y se obtuvo una mayor ductilidad en comparación con la viga de HP.
- Al agregar fibras, los mapas de deformaciones plásticas equivalentes muestran un patrón de fisuración más distribuido, debido a la acción de costura de las mismas.
- Al adicionar fibras, las tensiones en las barras longitudinales aumentan. Por lo tanto, las fibras permiten que el mecanismo de falla de la viga se aleje de un mecanismo de falla por corte y se acerque a un mecanismo de falla por flexión.

6 AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen a la UNT (PIUNT E/623) y al CONICET por el apoyo brindado.

7 REFERENCIAS

Cho J-S., Lundy J., Chao S-H., *Shear Strength of Steel Fiber Reinforced Prestressed Concrete Beams*, 1058-1066, 2009.

Diaz Fontdevila M., Almenar M., *Diseño a corte de elementos de hormigón armado con fibras de acero*, Proyecto Final de Carrera de Ingeniería Civil-FACET-UNT, 2021.

Dmitriev A., Novozhilov Y., Mikhalyuk D., Lalin V., Calibration and Validation of the Menetrey-Willam Constitutive Model for Concrete. *Construction of Unique Buildings and Structures*, 88, 2020.

Isla Calderón F., *Modelo para hormigones reforzados con fibras de acero*, Tesis Doctoral-FACET-UNT, 2014.

Soetens T., *Design Models for the Shear Strength of Prestressed Precast Steel Fibre Reinforced Concrete Girders*, Faculty of Engineering and Architecture-Ghent University-Belgium, 2015.

Estudio teórico empleando índices globales de reactividad y el concepto de transferencia de densidad electrónica global

Corregidor, Pablo F.[1] y Ottavianelli, Emilce E.[2]

(1) Facultad de Ingeniería, Instituto de Investigaciones para la Industria Química (INIQUI-UNSa-CONICET), Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta (CIUNSa), Universidad Nacional de Salta. pcorregidor@unsa.edu.ar
(2) Facultad de Ciencias Exactas, Instituto de Investigaciones para la Industria Química (INIQUI-UNSa-CONICET), Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta (CIUNSa), Universidad Nacional de Salta. ottavianelli@exa.unsa.edu.ar

RESUMEN

Se estudió de manera teórica la transferencia de grupo acetilo catalizada por zeolita H-ZSM-5, empleando la aproximación de un clúster-3T como modelo finito para el catalizador y descriptores globales de reactividad química: dureza, suavidad e índice de electrofilicidad. A partir de los resultados obtenidos, se confirma lo encontrado en cálculos previamente reportados de coordenada intrínseca de reacción, justificando el comportamiento de los dadores de acilo como nucleófilos suaves y el clúster de zeolita como un electrófilo suave. Por otro lado, los resultados obtenidos permiten afirmar que la reacción de acilación catalizada por H-ZSM-5 no puede describirse en términos de la dureza de las especies químicas intervinientes en la concepción del estado de transición. Esto equivale a decir que no está influenciado por la generación de cargas en el sistema y en cambio, se encuentra gobernado por la interacción nucleófilo-electrófilo suave-suave, es decir, por la transferencia de densidad electrónica global desde el nucleófilo al electrófilo.

ABSTRACT

The acetyl transfer reaction catalyzed by H-ZSM-5 zeolite has been theoretically studied by using the 3T-cluster approach as a finite model of the catalyst and global reactivity indexes like hardness, softness and electrophillicity. From the results obtained in this work, we confirmed the results found in previous reports of intrinsic reaction coordinate, therefore, giving reasons for the behavior of acyl donors acting as soft nucleophiles and the zeolite cluster as soft electrophilic agent. On the other hand, the results obtained affirm that the acylation reaction catalyzed by H-ZSM-5 cannot be described in terms of hardness for the species involved in the structure of the transition state. This is equivalent to the fact that the structure is not influenced by the generation of charges, however, it is preside by soft-soft nucleophile-nucleophile interactions, which correspond to the global electron density transfer from the nucleophillic agent to the electrophilic one.

Palabras claves: acilación-zeolita-reactividad-ZSM-5

Keywords: acylation-zeolite-reactivity-ZSM-5

1. INTRODUCCIÓN

Las reacciones de transferencia de grupos acilos juegan un papel muy importante en la química orgánica ya que a partir de ella se pueden obtener, de manera económica, una inmensa variedad de compuestos orgánicos, entre ellos ésteres, aldehídos, cetonas, etc. (Corregidor y col., 2020). El desplazamiento del grupo carbonilo ha sido extensamente estudiado dada su relevancia en la catálisis enzimática con trasferencias de estos grupos (Lee y col., 2004). Se pueden encontrar numerosos reportes acerca de trabajos experimentales sobre transferencias de grupos acilos en solución, en las cuales se plantea la formación de intermediarios tetraédricos. Sin embargo, otro posible camino de reacción es el que transcurre mediante un mecanismo concertado, en el cual el desplazamiento nucleofílico en el centro carbonílico ocurre en un solo paso, en donde la especie tetraédrica es el estado de transición (ET) y no un intermediario.

Se ha reportado que cuando la reacción de transferencia de grupos acilos es catalizada por un sólido ácido como la zeolita H-ZSM-5, se genera una zeolita acetilada (Corma y col., 1989; Kresnawahjuesa y col., 2004). En ese sentido, el modelado teórico de la interacción empleando un modelo finito para el catalizador zeolítico y diferentes sustratos orgánicos que actúan como dadores de grupos acetilos, ha podido sugerir la formación de un intermediario tipo zeolita acetilada, mediante un mecanismo concertado (Corregidor y Ottavianelli, 2020), poniendo de manifiesto los reordenamientos que acontecen a nivel atómico.

Por otro lado, se ha reportado también la ventaja de utilizar las funciones de Fukui como descriptores locales de reactividad para justificar el desarrollo de un intermediario de este tipo (Corregidor y col., 2021) sobre un cluster-3T de zeolita H-ZSM-5, permitiendo evaluar la reactividad química basada en el concepto de interacciones "suave-suave", como así también, justificar la ruptura y formación de enlaces encontrados mediante cálculos de coordenada intrínseca de reacción (IRC).

En ese sentido, el empleo de descriptores globales y locales de nucleofilicidad y electrofilicidad permite complementar estudios teóricos como los encontrados mediante IRC, haciendo uso de conceptos como el potencial electroquímico, dureza global, suavidad global e índices globales de electrofilicidad. A continuación, se introducen los aspectos más importantes de cada uno de estos descriptores.

1.1 *Descriptores globales de reactividad química*

El término "reactividad química" hace referencia a un grupo de parámetros cuantitativos de posibles centros de reacción en una estructura química, en relación a diferentes reactivos y tipos de reacciones. Estos parámetros cuantitativos son generalmente llamados *índices o descriptores de reactividad*. De esta manera, un "índice de reactividad" es una cantidad escalar capaz de caracterizar la habilidad de una molécula, ya sea como un todo (descriptor global) o como cierta porción (descriptor local), para dar lugar a una reacción química en general o cierto tipo de reacción en particular (Corregidor y Ottavianelli, 2021).

1.1.1 Potencial electroquímico

El potencial electroquímico (μ) se encuentra relacionado con la electronegatividad (χ) mediante la ecuación (1) y permite cuantificar la variación de la energía (E) con respecto al número de electrones (N), bajo un potencial externo constante (V):

$$\mu = \left(\frac{\partial E}{\partial N}\right)_V = -\chi \qquad (1)$$

1.1.2 Dureza y suavidad química

Según algunos autores (Parr y col., 1983), la dureza química representa la resistencia de un sistema al cambio en su número de electrones y se define matemáticamente como la segunda derivada de la energía (E) con respecto al número de electrones (N), bajo un potencial externo fijo (V):

$$\eta = \left(\frac{\partial^2 E}{\partial N^2}\right)_V = \frac{1}{S} \qquad (2)$$

La dureza química se encuentra relacionada con otro descriptor de reactividad, la suavidad (S), que se define como el recíproco de la dureza química. Esta es considerada una medida de la polarizabilidad del sistema, es decir, entre más grande sea el sistema químico, más *blando* o *suave* será el mismo. La polarizabilidad es una medida de la respuesta de los electrones más externos frente a una perturbación externa. Por lo tanto, mientras más polarizable sean los electrones externos, más *blando* o *suave* será el sistema. Es común observar que aquellos sistemas químicos voluminosos (con muchos electrones) son polarizables más fácilmente y por ende más *blandos* o *suaves* (Ghanty y col., 1993).

1.1.3 Índice global de electrofilicidad

La medida del poder electrofílico de un ligando (su capacidad para atraer electrones) fue introducida por Parr (Parr y col., 1999) y se define matemáticamente mediante la ecuación (3):

$$\omega \approx \frac{\mu^2}{2\eta}$$

(3)

Se denomina ω al índice global de electrofilicidad y proporciona una medida de la estabilización energética del sistema cuando se satura de electrones que provienen externamente. Resulta interesante hacer notar que no es necesario contar con un índice de nucleofilidad ya que estos conceptos (nucleofilicidad y electrofilicidad) son contrapuestos. Por lo tanto, un sistema con un ω pequeño (pequeño carácter electrofílico) poseerá un elevado carácter como nucleófilo (mayor nucleofilicidad).

1.2 *Teorías de la reactividad química*

El análisis teórico de una reacción química se basa principalmente en la teoría del estado de transición, partiendo de superficies de energía potencial para las coordenadas intrínsecas de reacción. Para ello, las velocidades de reacción, determinadas experimentalmente, generalmente obedecen la ecuación de Arrhenius. Sin embargo, se han encontrado varios reportes en los cuales el análisis de una reacción basado únicamente en la ecuación de Arrhenius puede ocasionar controversias (Mikosch y col., 2008; Tsuneda, 2015; Zhang y col., 2010). En ese sentido, el análisis de una reacción química basado en orbitales moleculares, ha sido propuesto como una posible alternativa para ser utilizado en el análisis de reactividad.

La teoría de orbitales frontera (TOF) ha asumido un papel destacado en el análisis de reacciones basado en orbitales moleculares. La teoría actual de la química cuántica puede proporcionar energías de orbitales moleculares muy precisas, permitiendo reemplazar los índices de reactividad basados en orbitales convencionales, tales como la función de Fukui, por índices basados en la energía de los mismos. Las energías orbitales se adaptan mejor al análisis cuantitativo de una reacción ya que son muy sensibles a la calidad de la correlación electrónica que sea utilizada.

Las interacciones del tipo suave-suave son controladas por los orbitales frontera (HOMO y LUMO) y su naturaleza es predominantemente covalente. En tales reacciones, se presenta un valor máximo para la función de Fukui, mientras que las interacciones duro-duro están controladas por la carga y son de naturaleza predominantemente iónica. En estas reacciones, el sitio preferido es aquel que contiene una carga neta elevada, lo cual suele coincidir con aquellos sitios asociados a un mínimo para la función de Fukui.

Por otra parte, el principio de máxima dureza (PMD) establece que: "*parece haber una regla natural en la cual las moléculas organizan su estructura electrónica de manera tal que sean lo más duras posible*", mientras que el principio de mínima polarización (PMP) enuncia que "*la dirección natural de evolución de cualquier sistema es hacia un estado de mínima polarización*". Por lo tanto, la dureza es una medida de la estabilidad y la suavidad (polarizabilidad) de la reactividad.

Como corolario a este principio, cuando se estudia la variación de la dureza a lo largo de un camino de reacción, el estado de transición debe exhibir una mínima dureza en comparación con la de los reactivos y productos, esto es, la dureza de activación ($\Delta\eta_{act}$) debe ser positiva.

$$\Delta\eta_{act} = \eta_{reactivos} - \eta_{estado-d\ -transición} > 0 \qquad (4)$$

Por otro lado, de acuerdo al principio ácido-base duro-suave (ABDS), se sabe que: "*entre pares reaccionantes de una electronegatividad determinada, a lo duro le gusta lo duro mientras que lo suave prefiere lo suave*". La restricción dada por "la diferencia de potencial electroquímico constante" suele ser similar a la fortaleza comparable de ácidos y bases, resultando una condición necesaria para que el principio ABDS sea operativo. Si bien las propiedades globales pueden explicar la reactividad, para comprender la selectividad se recurre a los índices locales de reactividad (Chattaraj, 2001).

En ese sentido, el objetivo del presente trabajo es realizar un estudio teórico empleando descriptores globales de reactividad, con la finalidad de contribuir al conocimiento de la interacción entre la forma ácida de una zeolita ZSM-5 y los agentes acilantes más utilizados: ácido acético, acetato de vinilo, anhídrido acético y cloruro de acetilo, que permita justificar la generación de un intermediario tipo zeolita acetilada y las diferencias en reactividad observadas experimentalmente.

1 METODOLOGÍA COMPUTACIONAL

La metodología aplicada al estudio de la interacción, empleando cálculos IRC, es idéntica a la reportada previamente (Corregidor y Ottavianelli, 2020). Se empleó un clúster de zeolita ZSM-5 obtenido a partir de datos cristalográficos, formados por tres unidades tetraédricas (en adelante, clúster-3T). La optimización de geometrías moleculares (ácido acético, cloruro de acetilo, anhídrido acético y acetato de vinilo) y del clúster de zeolita se realizó a nivel DFT, utilizando el set de bases 6-311+G(d) y el funcional B3LYP del paquete computacional Gaussian 16 (Frisch y col., 2016), implementado en el portal SEAGrid (Pamidighantam y col., 2016). En todos los casos, se comprobó que las geometrías encontradas corresponden a mínimos locales en la hipersuperficie de energía potencial, mediante inspección de los autovalores de la matriz

hessiana, lo que permitió corroborar la ausencia de frecuencias imaginarias (o único autovalor negativo para la estructura correspondiente a los estados de transición).
Se modelaron cada una de las geometrías que se muestran en la Fig. 1, con la finalidad de estudiar la interacción entre los dadores de acilo y el clúster de zeolita, desde la formación de un complejo reactivo, pasando por un Estado de Transición (ET), hasta culminar en el complejo producto (zeolita acetilada).

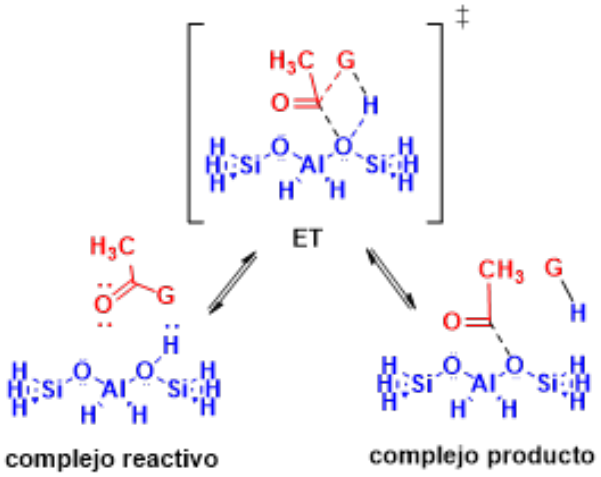


Figura 1: Geometrías de cada una de las etapas estudiadas en la transferencia de acetilo con un cluster-3T de zeolita H-ZSM-5.

Los índices globales de reactividad química se obtuvieron empleando el paquete computacional Multiwfn 3.8 (Lu y col., 2012).
El análisis basado en la transferencia de densidad electrónica global (GEDT, de las siglas en inglés para *Global Electron Density Transfer*) se realizó mediante determinación de las cargas naturales compartidas en los estados de transición, obtenidas a partir del análisis NBO (Natural Bond Orbital) entre un fragmento donador y otro aceptor, en las respectivas geometrías de los estados de transición. Posteriormente, se discriminaron las cargas de los átomos correspondientes a cada una de las especies interactuantes y se cómputo la suma de las mismas para obtener el valor de GEDT de cada fragmento.

2 RESULTADOS

2.1 *Análisis empleando descriptores globales de reactividad química*

En la tabla 1 se resumen los valores de energía (eV) calculados para los orbitales HOMO y LUMO de cada una de las especies estudiadas.
La dureza se puede determinar haciendo uso de las energías de los orbitales frontera, como se indica en la ecuación (5):

$$\eta \approx E_{LUMO} - E_{HOMO} = \frac{1}{S} \qquad (5)$$

Por otro lado, la tendencia para que ocurra una reacción química se puede estudiar a partir del salto electrónico HOMO-LUMO. Por lo tanto, se puede apreciar que a mayor diferencia de energía entre los orbitales HOMO y LUMO, mayor valor tendrá la dureza del sistema en estudio y para el caso de la geometría de los reactivos, más estables serán los mismos (menor su reactividad).

Tabla 1. Energía (eV) de los orbitales frontera (HOMO y LUMO) para las diferentes geometrías calculadas.

especie	E_{HOMO}	E_{LUMO}
Ácido acético	-7-73	0,06
Complejo reactivo	-6,97	-1,49
TS	-6,49	-2,20
Complejo producto	-7,25	-1,58
Cloruro de acetilo	-8,36	-1,38
Complejo reactivo	-7,15	-1,66
TS	-7,07	-3,23
Complejo producto	-7,47	-1,99
Anhídrido acético	-7,74	-0,91
Complejo reactivo	-6,91	-1,66
TS	-6,89	-3,11
Complejo producto	-7,37	-2,05
Acetato de vinilo	-7,03	-0,52
Complejo reactivo	-6,98	-1,42
TS	-6,51	-2,54
Complejo producto	-6,11	-1,90
Clúster-3T	-6,89	-1,64

Desde el punto de vista de la geometría del ET, un salto HOMO-LUMO grande (mayor dureza) implica mayor estabilización, con respecto a otro cuya transición sea pequeña y por ende, puede ser alcanzado más fácilmente. Como regla general, la transición HOMO-LUMO no debería presentar grandes cambios durante el transcurso de una reacción química y por lo tanto, tampoco la dureza. Esto se traduce en que la reacción química puede ocurrir de manera más rápida mientras más suaves sean los reactivos y mayor dureza presente el ET, tal como se representa en la Fig. 2.
De manera análoga al cálculo planteado para la dureza, se puede aproximar el índice de electrofilicidad haciendo uso de las energías de los orbitales HOMO y LUMO, mediante el teorema de Koopman, tal como se indica en la ecuación (6). En esta última, PI es el potencial de ionización y AE la afinidad electrónica:

$$\omega \approx \frac{(P + A)^2}{8(P - A)^2} \approx \frac{(E_{LUMO} + E_{HOMO})^2}{8(E_{LUMO} - E_{HOMO})} \qquad (6)$$

Los valores de los diferentes indicadores globales de reactividad calculados se presentan en la tabla 2, como así también los valores para $\Delta\eta_{act}$.



Figura 2: Comportamiento típico de la dureza en una reacción química.

Se puede apreciar que para la interacción del clúster de zeolita con los agentes acilantes estudiados, se cumple que la dureza de los reactivos y productos es mayor a la del ET. Por lo tanto, los valores de la dureza de activación ($\Delta\eta_{act}$) resultan positivos.
Por otro lado, teniendo en cuenta las definiciones de los términos dureza y suavidad, un compuesto duro presenta una menor polarizabilidad que aquel que se denomina suave. De esta manera, ya que un estado de transición presenta una mayor deslocalización electrónica, es considerado una especie más polarizable que los reactivos y los productos. Se ha propuesto que en aquellos casos en los cuales las especies reactivas intervinientes son similares, se puede realizar una correlación entre la energía de activación y los valores de $\Delta\eta_{act}$.
Esta situación no es la que se presenta en este estudio, por lo tanto, $\Delta\eta_{act}$ no debe ser considerado un indicador adecuado que permita explicar la secuencia de reactividad en reacciones en la que intervienen especies reactivas cuyas diferencias son notables. Por esto mismo, dada las características del clúster-3T y las moléculas de los dadores de acilo, la dureza de activación no debe ser correlacionada con los valores de energías de activación encontrados a partir de los cálculos IRC.
Este comportamiento también fue encontrado por otros autores y una posible explicación al mismo es que la dureza es un indicador que describe mejor la reactividad en aquellos casos en los que prevalecen las interacciones del tipo duro-duro, las cuales se encuentran controladas por las cargas eléctricas y por lo tanto, con una naturaleza predominantemente iónica.

Tabla 2. Indicadores de reactividad global (μ: potencial electroquímico, η: dureza, ω: electrofilicidad y $\Delta\eta_{act}$: dureza de activación) para las interacciones de los diferentes dadores de acilo y el clúster de zeolita.

especie	μ	η	ω	$\Delta\eta_{act}$
Ácido acético				
Complejo reactivo	-3,84	7,79	0,94	
TS	-4,23	5,49	1,63	1,21
Complejo producto	-	4,28	-	
	-	5,67	-	
Cloruro de acetilo				
Complejo reactivo	-4,87	6,98	1,70	
TS	-4,41	5,49	1,77	1,65
Complejo producto	-	3,84	-	
	-	5,49	-	
Anhídrido acético				
Complejo reactivo	-4,33	6,83	1,37	
TS	-4,23	5,25	1,75	1,98
Complejo producto	-	3,27	-	
	-	5,32	-	
Acetato de vinilo				
Complejo reactivo	-3,78	6,51	1,10	
TS	-4,20	5,56	1,59	1,58
Complejo producto	-	3,98	-	
	-	4,21	-	
Clúster-3T	-4,27	5,25	1,74	-

Por otro lado, las interacciones de tipo suave-suave son controladas por los orbitales frontera, dada la naturaleza predominantemente covalente de la interacción.
Teniendo en cuenta los valores calculados para el índice de electrofilicidad global, se puede observar que la zeolita presenta un mayor carácter electrofílico (mayor valor de ω) que los dadores de acilo. Debido a esto, estos últimos se comportan como mejores nucleófilos que la zeolita. Teniendo en cuenta los valores de ω, se puede inferir que el ácido acético presenta la mayor nucleofilia, seguida del acetato de vinilo, luego anhídrido acético y finalmente el cloruro de acetilo. Esta secuencia es inversa a la reportada previamente para las energías de activación encontradas a partir de cálculos IRC (Corregidor y Ottavianelli, 2021), indicando que no hay una correlación directa entre las energías de activación y el comportamiento de la zeolita como electrófilo y los dadores de acilo como nucleófilos.

2.2 *Análisis basado en el concepto de transferencia de densidad electrónica global (GEDT)*

Cuando dos moléculas A y B, con $\mu_A > \mu_B$, se aproximan entre sí, ocurre un flujo de densidad electrónica desde la especie con menor electronegatividad (A) hacia la más electronegativa (B), de manera tal que puedan equilibrar el potencial electroquímico, μ_{AB}, del nuevo sistema en el que A y B interaccionan. Esto constituye lo que se denomina el *Principio de Igualación de la Electronegatividad* (Mortier y col., 1987). Mientras mayor sea la diferencia en el potencial electroquímico de las especies interactuantes, mayor transferencia de densidad electrónica global (GEDT) ocurrirá entre ambas. Este concepto fue previamente utilizado en otros trabajos (Domingo, 2014; Domingo y col., 2016) con la finalidad de estudiar modelos de reactividad basados en el análisis topológico del cambio de densidad electrónica.

El concepto de GEDT proviene de la observación de que la transferencia de densidad electrónica que tiene lugar en las reacciones iónicas y polares, no son procesos locales sino más bien un flujo de densidad electrónica global desde el nucleófilo hacia el electrófilo, siendo independiente de la manera en la cual se aproximan las especies interactuantes.

Con este enfoque, se estudiaron las interacciones entre el clúster de zeolita y los diferentes agentes dadores de grupos acetilo, considerando la posibilidad de transferencia de densidad electrónica global en un estado de transición polar.

Los valores de GEDT para cada dador de acilo se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Valores de GEDT obtenidos mediante análisis de cargas obtenidas por el método NBO.

Molécula donor en el ET	GEDT
Ácido acético	0,249
Acetato de vinilo	0,269
Anhídrido acético	0,271
Cloruro de acetilo	0,281

Se observa que existe una transferencia de densidad electrónica global en el rango de 0,245-0,290 para los cuatro ET planteados. Esto sugiere la posible estabilización adicional de un estado de transición polar, mediante aporte de densidad electrónica global desde el agente acilante (donor) hacia el clúster-3T de zeolita (aceptor). Se observa además que los valores de GEDT siguen la secuencia encontrada para las energías de activación previamente reportadas (Corregidor y Ottavianelli, 2021). Por lo tanto se puede pensar que los valores de GEDT están relacionados con las energías de activación y por ende, la transferencia de densidad electrónica global es la que permite estabilizar los ET encontrados. Estos resultados también concuerdan con estudios experimentales acerca de la adsorción y reactividad en fase gaseosa de ácido acético, anhídrido acético y cloruro de acetilo sobre una zeolita H-ZSM-5 (Kresnawahjuesa y col., 2004).

3 CONCLUSIONES

Los índices de reactividad global indican que el clúster de zeolita tiene una mayor tendencia para actuar como electrófilo, mientras que los agentes dadores de acilo tienden a hacerlo como nucleófilos. El orden creciente de nucleofilia es inverso al de las energías de activación: ácido acético > acetato de vinilo > anhídrido acético > cloruro de acetilo, lo que indica que el comportamiento del clúster como electrófilo y los dadores de acilo como nucleófilos no son los responsables de los valores de las energías de activación calculadas. Por otra parte, los valores de GEDT siguen el mismo orden que las energías de activación calculadas, por lo tanto, es la transferencia de densidad electrónica global la que permite justificar la estabilidad de los ET, para los diferentes dadores de acilo. De esta manera, un estudio teórico basado en descriptores globales de reactividad permite justificar el desarrollo de un estado de transición y conocer acerca de la naturaleza de la interacción entre las diferentes especies intervinientes, afirmando o descartando la generación de un estado de transición que puede estabilizarse por transferencia de densidad electrónica global.

4 AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta (CIUNSa) por el apoyo económico recibido bajo el Proyecto N° 2546. Se utilizaron recursos y servicios implementados en el portal SEAGrid (http: www.seagrid.org) para realizar los cálculos computacionales de este trabajo.

5 REFERENCIAS

Corma, A., M. J. Climent, H. García, J. Primo. Design of synthetic zeolites as catalysts in organic reactions: Acylation of Anisole by Acyl Chlorides or Carboxylic Acids Over Acid Zeolites. *Applied Catalysis, 49*(1), 109-123, 1989.

Corregidor, P. F., E. E. Ottavianelli. A DFT Study of the Acetyl Transfer Reaction Catalyzed by H-ZSM-5 Zeolite Using a 3T-Cluster Approach. In N. R. Blevins (Ed.), *An Introduction to Aluminosilicates* (pp. 443-464). New York: Nova Science Publishers, 2020.

Corregidor, P. F., E. E. Ottavianelli. Aplicación de descriptores locales de reactividad al estudio

de la transferencia de grupos acilos catalizada por H-ZSM-5. *Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA, 6*, 10, 2021.

Chattaraj, P. K. Chemical Reactivity and Selectivity: Local HSAB Principle versus Frontier Orbital Theory. *The Journal of Physical Chemistry A, 105*(2), 511-513, 2001.

Domingo, L. A new C-C bond formation model based on the quantum chemical topology of electron density. *RSC Advances, 4*(61), 32415-32428, 2014.

Domingo, L., M. Ríos-Gutiérrez, P. Pérez. Applications of the Conceptual Density Functional Theory Indices to Organic Chemistry Reactivity. *Molecules, 21*(6), 748, 2016.

Frisch, M. J., G. W. Trucks, H. B. Schlegel, G. E. Scuseria, M. A. Robb, J. R. Cheeseman, . . . D. J. Fox. (2016). Gaussian 16 Rev. C.01. Wallingford, CT.

Ghanty, T. K., S. K. Ghosh. Correlation between hardness, polarizability, and size of atoms, molecules, and clusters. *The Journal of Physical Chemistry, 97*(19), 4951-4953, 1993.

Kresnawahjuesa, O., R. J. Gorte, D. White. Characterization of acylating intermediates formed on H-ZSM-5. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical, 208*(1–2), 175-185, 2004.

Lee, I., D. D. Sung. Theoretical and Physical Aspects of Stepwise Mechanisms in Acyl-Transfer Reactions. *Current Organic Chemistry, 8*(7), 557-567, 2004.

Lu, T., F. Chen. Multiwfn: A multifunctional wavefunction analyzer. *Journal of Computational Chemistry, 33*(5), 580-592, 2012.

Mikosch, J., S. Trippel, C. Eichhorn, R. Otto, U. Lourderaj, J. X. Zhang, . . . R. Wester. Imaging Nucleophilic Substitution Dynamics. *Science, 319*(5860), 183-186, 2008.

Mortier, W. J., K. U. Leuven. (1987). *Electronegativity equalization and its applications*, Berlin, Heidelberg.

Pamidighantam, S., S. Nakandala, E. Abeysinghe, C. Wimalasena, S. R. Yodage, S. Marru, M. Pierce. Community Science Exemplars in SEAGrid Science Gateway: Apache Airavata Based Implementation of Advanced Infrastructure. *Procedia Computer Science, 80*, 1927-1939, 2016.

Parr, R. G., R. G. Pearson. Absolute hardness: companion parameter to absolute electronegativity. *Journal of the American Chemical Society, 105*(26), 7512-7516, 1983.

Parr, R. G., L. v. Szentpály, S. Liu. Electrophilicity Index. *Journal of the American Chemical Society, 121*(9), 1922-1924, 1999.

Tsuneda, T. Chemical reaction analyses based on orbitals and orbital energies. *International Journal of Quantum Chemistry, 115*(5), 270-282, 2015.

Zhang, J., J. Mikosch, S. Trippel, R. Otto, M. Weidemüller, R. Wester, W. L. Hase. F− + CH3I → FCH3 + I− Reaction Dynamics. Nontraditional Atomistic Mechanisms and Formation of a Hydrogen-Bonded Complex. *The Journal of Physical Chemistry Letters, 1*(18), 2747-2752, 2010.

Evaluación de parámetros de exportación en arándanos tratados con luz UV

[1] Campero, Eliana V.; [1] Barrionuevo, María J.; [2]Gómez Marigliano, Ana C.

[1]Departamento de Ingeniería en Procesos – Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología – Universidad Nacional de Tucumán.Av. Independencia 1800, 4000 - San Miguel de Tucumán, Argentina
[2]Departamento de Física – Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología – Universidad Nacional de Tucumán INFINOA – CONICET;Av. Independencia 1800, 4000 - San Miguel de Tucumán, Argentina
E-mail: vcampero@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN
El arándano tiene propiedades antiinflamatorias y antioxidantes debido al contenido de compuestos fenólicos. Una alternativa de conservación es irradiar los frutos con luz ultravioleta (UV). Se evaluó la calidad de los arándanos del NOA Argentino sometidos a luz UV, analizando pérdida de peso (PP), contenido de compuestos fenólicos (CFT), color y espectros UV-Vis del fruto antes y después de la aplicación del tratamiento. Se utilizó arándanos proporcionados por el packing "Tierra de Arándanos S.R.L" ubicada en Monteros, Tucumán. Se observó que la tendencia de la PP entre la muestra control y tratada a lo largo del tiempo se mantuvo. Los espectros UV-Vis muestran que los extractos presentan pigmentos antociánicos, que no varían con el tratamiento propuesto respecto de la muestra control, pero se observó que CFT permanece invariable durante 7 días en el fruto tratado. Las frutas irradiadas presentaron un mayor contenido de CFT en comparación con la fruta no irradiada. La diferencia de color entre la muestra control y tratada a tiempo cero fue baja, aumentando con el tiempo de conservación. De lo obtenido se puede concluir que el tratamiento sugerido se presenta como una alternativa prometedora ya que mantiene la calidad organoléptica de las muestras de arándanos estudiadas.

ABSTRACT
Blueberry has anti-inflammatory and antioxidant properties due to the content of phenolic compounds. An alternative for conservation is to irradiate the fruits with ultraviolet (UV) light. The quality of the Argentine NOA blueberries subjected to UV light was evaluated, analyzing weight loss (PP), content of phenolic compounds (CFT), color and UV-Vis spectra of the fruit before and after the application of the treatment. Blueberries provided by the packing "Tierra de Arándanos S.R.L" located in Monteros, Tucumán, were used. It was observed that the trend of PP between the control and treated sample over time was maintained. The UV-Vis spectra show that the extracts present anthocyanin pigments, which do not vary with the proposed treatment with respect to the control sample, but it was observed that CFT remains unchanged for 7 days in the treated fruit. Irradiated fruits had a higher CFT content compared to non-irradiated fruit. The color difference between the control sample and the sample treated at time zero was low, increasing with the conservation time. From the results, it can be concluded that the suggested treatment appears as a promising alternative since it maintains the organoleptic quality of the blueberry samples studied.
Palabras claves: arándanos- poscosecha - calidad- luz UV

Keywords: blueberry – postharvest – quality – UV light

INTRODUCCION

El incremento del consumo de arándanos en todo el mundo se debe a la apreciación de las propiedades organolépticas junto con sus múltiples beneficios para la salud (Muñoz et al., 2008). Dicho efecto está asociado en gran medida a la capacidad antioxidante de distintos fotoquímicos capaces de prevenir o ralentizar los procesos oxidativos que intervienen en numerosas patologías. Los compuestos fenólicos son los principales responsables de dicha capacidad antioxidante, siendo los arándanos una de las mejores fuentes de fenoles de distinta naturaleza; ácidos fenólicos, flavonoles, antocianinas y proantocianidinas (Vásquez et al., 2012). Se han reportado propiedades antiinflamatorias, antioxidantes y antimicrobianas por el contenido de compuestos fenólicos que otorgan un valor adicional al producto final. De ahí la importancia de la conservación del fruto para que mantenga sus características nutricionales funcionales.

De acuerdo a lo descripto por Dell'Acqua (2019), en pocos años Argentina logró un importante posicionamiento en el mercado internacional, especialmente en Estados Unidos, Reino Unido y Alemania. Actualmente, se están buscando nuevos destinos en Europa y Asia. En Argentina, la producción de arándanos se localiza principalmente en las regiones NOA (alrededor del 47% de la superficie total dedicada a dicho cultivo) y NEA (alrededor del 39% de la superficie), las cuales, en conjunto, representan cerca del 86% de la superficie total cultivada en Argentina. El 15% restante se localiza en la zona Centro del país. Casi el 98% de la producción es destinada al mercado externo. Entre el NOA y NEA, se produce entre 7000 tn y 8000 tn de fruta anual. La producción de arándanos se caracteriza por ser intensiva en la mano de obra y capital. Genera una rentabilidad considerable en superficies no muy extensas, con importantes impacto económico-social en las economías regionales.

La calidad del fruto incluye la calidad visible, organoléptica y nutritiva. La calidad visible se refiere a la apariencia de la fruta. En arándanos, el fruto debe presentar color azul uniforme, con presencia de cera en la superficie de la fruta ausencia de defectos tales como daño mecánico y pudriciones, además la forma, el tamaño y la firmeza deben ser adecuadas. (Defilippi, 2013)

La calidad organoléptica está determinada por el contenido de azúcares, ácidos y compuestos volátiles responsables del aroma característico de la fruta. Por lo tanto, toda la operación de pre cosecha y poscosecha debe orientarse a lograr un producto de calidad. Los índices de calidad normalmente usados por la industria de fruta fresca son: color, tamaño, forma, ausencia de defectos, firmeza y sabor según Defilippi (2013).

En relación a la calidad nutritiva, el arándano tiene bajo contenido calórico, grasa y sodio; es rico en fibras y minerales, destacándose la elevada concentración en vitamina C. (Gordó, 2008).

Desde hace tiempo se realizan investigaciones dirigidas a mejorar la calidad de las exportaciones de arándanos a destinos lejanos, puesto que demandan mayor tiempo de comercialización, y mayor calidad del producto para que se justifique su alto valor agregado. Los métodos de procesamiento no térmico se usan cada vez más como técnicas alternativas de procesamiento y conservación de alimentos. Una alternativa es la luz ultravioleta (UV). La misma minimiza el deterioro de los alimentos ocasionado por microorganismos patógenos y no patógenos, principalmente, de la superficie, es inocua y sin efecto residual en los productos alimenticios tratados. Se ha reportado que los tratamientos con UV inducen cambios deseables en frutas y verduras, como el aumento de la capacidad antioxidante y de la vida útil. Los sistemas UV son asequibles, ya que requieren una inversión inicial baja y un menor costo operativo de tratamiento como lo indica Guerrero-Beltrán (2004). (Millán Villarroel, 2015).

En este trabajo se evaluó la calidad de los arándanos de la región del NOA argentino sometidos a luz UV, analizando la pérdida de peso, el contenido de compuestos fenólicos totales, color y los espectros UV-Visible del fruto antes y después de la aplicación del método. Además se evaluó la vida útil de la fruta tratada.

MATERIALES Y METODOS

Se utilizó arándanos de la variedad (Jewell) proporcionada por packing Tierra de Arándanos, Orán, Monteros, Tucumán. Se realizaron ensayos de muestras de ½ kg obtenidos durante la cosecha en dos años consecutivos.

Se tomaron siempre cuatro muestras: 100 g cada una que se las rotuló

1 - Fruta natural completa (FCN) en el momento 0 (t = 0). Muestra control

2 - Muestra irradiada con radiación UV pulsada de 254 nm, medida en el tiempo 0. (FCI0).

3 - Muestra irradiada con radiación UV pulsada de 254 nm medida a los 3 días y 7 días (FCl).
4 – Fruta natural completa a los 3 y 7 días (FCN 3, FCN7).

Se midió la pérdida de peso, compuestos fenólicos totales, Espectrofotometría UV -Vis y color a todas las muestras.

Pérdida de peso

La pérdida de peso (PP) de los arándanos frescos y tratados se evaluó midiendo el peso de los mismos en el día 0, y luego de 3, 5 y 7 días de almacenamiento. Se usó una balanza analítica con precisión de ± 0,01 g. Se evaluó la PP en 10 frutos en cada tanda de frutos recibida para cada condición. Los resultados fueron expresados como porcentaje de variación de peso con respecto al de la fruta fresca en el día 0, según la siguiente ecuación:

$$PP\ (\%) = \frac{(p_o - p_t)}{p_0} .100 \quad (1)$$

Donde:

PP (%) = porcentaje de pérdida de peso de la muestra; po = peso inicial de la muestra al día 0, pt = peso de la muestra a un tiempo t.

Compuestos fenólicos totales

Para la determinación de Compuestos fenólicos totales se utilizo el micrométodo modificado de Folin-Ciocalteu (FC) el cual se basa en la capacidad de estos compuestos para reaccionar con agentes oxidantes. El reactivo de Folin-Ciocalteu contiene molibdato y tungstato sódico, que reaccionan con compuestos con grupos hidroxilo, 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.

Se construyó una curva de calibración, usando una solución patrón de 500 mg/L de ácido gálico. Para cuantificar los compuestos fenólicos totales en la muestra se mezclaron 0,5 mL de esta con 0,5 mL del reactivo Folin- Ciocalteau y se agitó suavemente, después de dos minutos se le agregó 0,5 mL de solución de carbonato de sodio 10% y 3,5 mL de agua bidestilada. Se llevó a baño María durante una hora a 30ºC. Transcurrido el tiempo, se realizaron las mediciones en el espectro a 765 nm. La concentración de compuestos fenólicos se calculó en base a la curva de calibración y se expresó como mg equivalentes de ácido gálico/ 100 gramos de muestra.

Espectrofotometría UV -Vis

Los espectros se realizaron en el rango de 190 a 1100 nm con un espectrofotómetro HITACHI U-1900, en cubetas de cuarzo de 10 mm de paso óptico, con velocidad de registro de 800 nm/min.

Colorimetría en los extractos

El color es una respuesta mental al estímulo producido en la retina por la radiación de luz visible.

El sistema CIE-L*a*b* es empleado frecuentemente como un método versátil y fiable para evaluar el color de frutas y hortalizas, así como también los cambios ocurridos durante su maduración, procesamiento, almacenamiento, etc. (Bonilla González, 2012)

Las propiedades ópticas se evaluaron a través de la medida del color de los extractos del fruto natural y del irradiado con un colorímetro Konica Minolta Sensing CM-600d Spectrophotometer, en el espacio de color CIELAB, previamente calibrado con una placa estándar blanca. A partir del espectro de reflexión de las muestras se obtuvieron las coordenadas rectangulares CIE-L*a*b*, donde L* es la luminosidad (0, negro; 100, blanco), a* indica la proporción de componente rojo-verde en el color medido, para valores positivo y negativo respectivamente y, de forma similar, b*, para el componente amarillo-azul. Finalmente, a partir de estas coordenadas se calculó la diferencia del color (DE*) entre las muestras tratadas ó almacenadas con respecto a muestras control, mediante la ecuación

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (2)$$

RESULTADOS

Pérdida de peso

Se midió la masa de 50 frutos de cada tanda (5 en total en cada cosecha) de frutos recibidos durante dos cosechas consecutivas y se realizó un promedio. En la tabla 1 se observan valores de PP a los 3, 5, 7 días para muestra de control y tratadas con el tratamiento sugerido. Se observa que la pérdida de peso de los frutos se incrementó durante el almacenamiento a 20°C en oscuridad.

Tabla 1. Pérdida de peso a los 3, 5y 7 días de conservación para las muestras control y tratada.

Conservación	3 días	5 días	7 días
Muestra control	3,45 %	9,54%	14,53 %
Muestra tratada	3,15%	9,14%	14,24%

Se mantuvo la tendencia de la pérdida de peso entre la muestra control y tratada a lo largo del tiempo. Si bien no se detectaron diferencias significativas, la muestra tratada registró una leve disminución de la pedida de peso. La menor pérdida de peso de los frutos tratados podría asociarse con un menor deterioro de los mismos como consecuencia de los tratamientos y con una mayor integridad de las barreras a la deshidratación (Charles et al., 2009).

Espectrofotometría UV -Vis

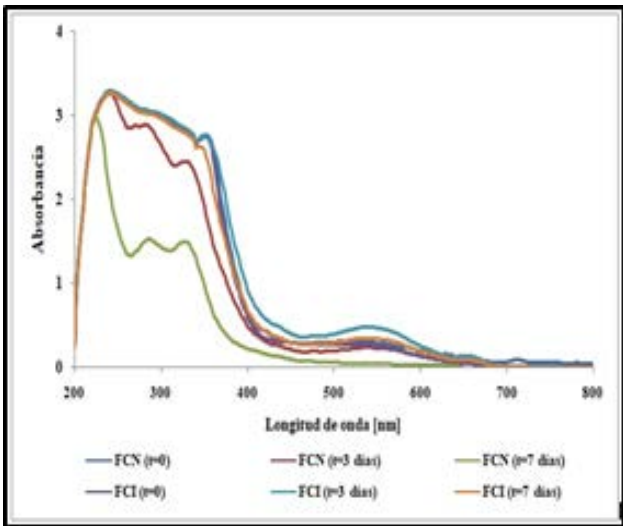


Figura 1: Espectro UV-Vis para las distintas muestras-.

Los espectros UV Visible mostrados en la figura 1 indican bandas de absorción características en la región UV entre (250 y 370 nm) y visible (500 a 545 nm) e indica, presuntivamente, la presencia de antocianinas. Se observa en la figura 1 que los extractos de los frutos tratados presentan absorbancias similares en forma y en intensidad a los del fruto a tiempo cero, mostrando una muy leve variación de la intensidad (menor al 5 % al cabo de 7 días).

Compuestos fenólicos totales

Se observa en la tabla 2 que la fruta irradiada tuvo un mayor contenido de compuestos fenólicos totales en comparación con la fruta no irradiada indicando que el tratamiento postcosecha con luz UV produjo un estrés en la fruta que hace que ésta, en respuesta a dicho estímulo, induzca la síntesis de polifenoles. Es decir que se ven obligadas a generar sustancias defensivas como los polifenoles y antocianos, que son la razón de que estos frutos sean tan cotizados.

Tabla 2. Contenido total de compuestos fenólicos a los 0 y 7 días de conservación para las muestras control y tratada.

	CONC. (mg Eq AG/100 g muestra)	
MUESTRAS	0 días	7 días
Muestra Control	393,33 b	376,00 b
Muestra Tratada	399,33 a	396,67 b

Las letras distintas indican que hay diferencias significativas, según test de LSD Fisher ($P \leq 0,05$).

La variedad estudiada presenta contenidos en estos compuestos similares a los detallados en bibliografía para arándanos cultivados de distinta procedencia. (Vásquez, 2012) (Barreto, 2016).

Los datos publicados por la USDA Nutrient Data base (2004) para las variedades de mayor consumo en Estados Unidos muestran valores medios de 292,97 mg fenoles/100g arándano fresco, siendo los valores mínimo y máximo de 158,03 mg fenoles/100g arándano fresco y 459,05 mg fenoles/100g arándano fresco respectivamente.

Color

Los resultados de la evolución del color superficial obtenidos en los ensayos pueden verse en la tabla 3.

Tabla 3: Luminosidad L*, parámetro de color a* y parámetro de color b*para arándanos a los 0 y 3 días de almacenamiento.

	CONC. (mg Eq AG/100 g muestra)		
MUESTRAS	L*	A	b
NFC0	4,41 d	27,31 c	7,61 d
NFC3	5,43 b	30,46 b	9,36 b
IFC0	4,98 c	29,40 b	8,58 c
IFC3	6,32 a	32,45 a	7,61 d

Las letras distintas indican que hay diferencias significativas, según test de LSD Fisher ($P \leq 0,05$).

*Parámetro L**

A tiempo cero, el parámetro Luminosidad L* en el extracto del fruto completo irradiado fue 13% mayor al natural.

Se observó que en el extracto del fruto completo irradiado y conservado durante 3 días hubo un aumento del 16%, respecto a la luminosidad extracto del fruto completo natural a tiempo cero. Mientras que en la Luminosidad del extracto del fruto completo natural y conservado durante 3 días aumentó un 23%, ya que la pérdida de peso, se debe a la pérdida de humedad, el resultado se percibe desde el punto de vista de la percepción del color como un aumento de luminosidad.

Los valores fluctuaron entre 4 y 6 indicando valores bajos de luminosidad con tendencia al negro. Valores similares se encontraron en bibliografía, en donde la luminosidad, que cuantifica la oscuridad-claridad (0-100) de un alimento, presentó un valor de 5,1±0,5 en el subproducto fresco, que representa un color oscuro.(Irigoytia, 2018).

*Parámetro a**

A tiempo cero, el parámetro a*en el extracto del fruto completo irradiado fue 8% mayor al natural.

Se observó que en el extracto del fruto completo irradiado y conservado durante 3 días hubo un aumento del 19%, respecto al del extracto del fruto completo natural a tiempo cero. Mientras que en el parámetro b* del extracto del fruto completo natural y conservado durante 3 días aumento un 11%.

Los valores fluctuaron entre 27 y 43. De modo análogo a la luminosidad, al haber pérdida de peso (debido a la pérdida de humedad, y dado que los valores de compuestos fenólicos se mantienen) el resultado se percibe desde el punto de vista de la percepción del color como un aumento del componente rojo-verde, donde el ojo tiene mayor sensibilidad.

*Parámetro b**

A tiempo cero, el parámetro b*en el extracto del fruto completo irradiado fue 13% mayor al natural.

Se observó que en el extracto del fruto completo irradiado y conservado durante 3 días hubo un aumento del 43%, respecto a b* del extracto del fruto completo natural a tiempo cero. Mientras que en el parámetro b* del extracto del fruto completo natural y conservado durante 3 días disminuyo un 23%.

Los valores de b* para el fruto completo fluctuaron entre 7 y 10 indicando tendencia al azul, pero con menor incidencia por la menor sensibilidad.

Los valores mostrados entre las muestras tratadas con radiación UV-C presentaron un color similar a la testigo similar a la bibliografía (Frisón, 2021). Inmediatamente después de la aplicación del tratamiento, tanto la luminosidad (L*) como el parámetro b* (b*<0, representa el tono azul) y la cromaticidad (C*ab) de los arándanos tratados presentaron valores similares a la muestra testigo, al igual que los parámetros a* y h_{ab} (no informados). Rodoni y otros (2015) no encontraron diferencias en la luminosidad y el tono (L* y h_{ab}) de pimientos frescos cortados por efecto de la radiación UV-C. Ortiz Araque y otros (2018) tampoco encontraron diferencias en el tono de las frutillas antes y después del tratamiento con radiación UV-C, pero sí una reducción en L*.

Diferencia de color

Uno de los mejores parámetros para describir la variación del color es la diferencia de color (DE*), ya que refleja el cambio total en todos los parámetros L*, a* y b* (Ec. 2).

Al considerar como estándar o referencia el fruto completo natural a tiempo cero con respecto al fruto completo irradiado a tiempo cero la diferencia de color fue 2,38; respecto del fruto completo natural al tercer día de conservación 3,75 y respecto al fruto completo irradiado al tercer día de conservación 6,38. La diferencia de color entre el fruto completo natural e irradiado conservados durante 3 días fue de 2,66.

Los resultados obtenidos se analizaron estadísticamente utilizando el software InfoStat a través del análisis de varianza (ANOVA). Se realizó la comparación de medias utilizando el test de diferencias mínimas de Fisher (LSD) con un nivel de confianza del 95%.

CONCLUSION

Se mantuvo la tendencia de la pérdida de peso entre la muestra control y tratada a lo largo del tiempo. No se detectaron diferencias significativas, la muestra tratada registró una leve disminución de la pedida de peso.

Los espectros UV-Vis identificaron que los extractos del arándano presentan pigmentos antociánicos no mostrando una diferencia considerable con el tratamiento propuesto a tiempo cero, pero si se observó que el contenido permanece casi invariable durante 7 días en el fruto tratado.

La fruta irradiada tuvo un mayor contenido compuestos fenólicos en comparación con la fruta no irradiada.

La luminosidad tuvo un leve aumento luminosidad al tercer día de los extractos de los frutos conservados

con y sin radiación, siendo mayor el aumento en el natural, lo que indica que el tratamiento no afecta dicho parámetro de manera considerable. Es decir que la luminosidad (L*) de los frutos disminuyó durante el almacenamiento mostrando que el tratamiento UV retraso la pérdida de luminosidad de los frutos.

La diferencia de color entre las muestra tratada y las muestra control a tiempo cero fue baja, aumentando con el tiempo de conservación.

De los resultados obtenidos se puede concluir que el tratamiento sugerido se presenta como una alternativa prometedora ya que mantiene la calidad organoléptica de las muestras de arándanos estudiados.

BIBLIOGRAFIA

Barbosa-Cánovas* Gustavo y Bermúdez-Aguirre Daniela.*Nonthermal Processing of Food.* ScientiaAgropecuaria, 2010.

Barreto, M. A., Cánoves, A. F., & Más, M. J. E. *Determinación de polifenoles totales en arándanos y productos derivados*. UCV-SCIENTIA/Journal of Scientific Research of University, 2016.

Bonilla-González, J.P., & Prieto-Ortíz, F.A. (2016). Determinación del estado de maduración de frutos de feijoa mediante un sistema de visión por computador utilizando información de color. Rev. investig.desarro.innov, 7(1), 111-126,2016.

Charles, M., Tano, K., Asselin, A., Arul, J. *Physiological basis of UV-C induced resistance to Botrytis cinerea in tomato fruit. V. Constitutive defence enzymes and inducible pathogenesis-related proteins.* Postharvest Biol. Technol. 51, 414-424, 2009.

Defilippi, Bruno, Robledo, Paula y Becerra, Cecilia (2013) *Manejo de cosecha y poscosecha en arandano*. Chillan: Boletin INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. N° 263, 2013.

Del Valle, G.; González, A.; Báez, R. 2005. *Antocianinas en uva (VitisViniferaL.) y su relación con el color.* Revista Fitotecnia Mexicana Vol. 28, número 004, 2010 .

Dell'Acqua, Ailyn; Moyano, María; Galvan, Julieta. *Comercialización y competitividad del arándano argentino*. FCE. UNT, 2019.

Fabiani, G. L.; Perez, E.E., Corral, L.; Salguero A. R.; González, M., Tereschuck, M. L. y Boggetti, H. J. *Evaluación del contenido de antioxidantes en extractos convencionales y supercríticos de arandano (VacciniumcorymbosumL.)* Investigaciones en facultades del NOA. ISSN Nº 1853-7871

Frisón Noemi, María Zoé Rivas,Carolina Andrea Chiericatti, Andrea Marcela PiagentinEfecto de *la radiación UV-C sobre la calidad y la flora fúngica contaminante natural de arándanos (Vaccinium corymbosum L., variedad O'Neal).* Laura iINNOTEC, núm. 22, e575, 2021.

Guerrero, J., Ciampi, L., Castilla, A., Medel, F., Schalchli, H., Hormazabal, E., Alberdi, M. *Antioxidant capacity, anthocyanins, and total phenols of wild and cultivated berries in Chile*. Chilean Journal of Agricultural Research, 70(4), 537-544, 2010

Guerrero-Beltrán, J.A. Barbosa-Cánovas, G.V. Review: *Advantages and Limitations on Processing Foods by UV Light*. Food Science Technology International. EUA, 2004.

Irigoytia, Belén; Sosa, Natalia; Genevois, Carolina. *Efecto de diferentes tratamientos de deshidratación sobre las propiedades físicas y nutricionales de subproductos de arándanos*.

Jepson RG, Craig JC. *A systematic review of evidence for cranberries and blueberries in UTI prevention.* MolNutrFoodRes ;51:1-8 2007.

Jiménez A. y Gutiérrez G. «*Color*» *En Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos*, Ed. A. Jiménez y J. M. Aguilera, Editorial Acribia, 325 a 331, 2001.

Kirschbaum D. S. (2017). *Situación actual de la producción de las frutas finas en Argentina*. En: Suena Campo. http://suenaacampo.com. Consultado: mayo 2021

Kirschbaum Daniel, Rivadeneira Maria F.- *Programa Nacional Frutales - Cadena arándano.* INTA EEA. Concordia, Entre Rios. INTA EEA Famaillá, Tucumán, 2012.

Kirschbaum, D. S. (2017). *Arándanos, la fruta fina que más creció en los últimos años.* En: Producción. http://www.produccion.com.ar/, consulta: mayo 2021

León, S., & Elisa, D. *Estudio del potencial antioxidante de la mora (RubusglaucusBenth) y sus cambios en función del proceso de maduración y bajo diferentes temperaturas de almacenamiento.* Universidad Nacional de Colombia, 2012.

Mathias-Rettig, K., & Ah-Hen, K..*El color en los alimentos un criterio de calidad medible*. *AgroSur,42*(2),57-66, 2014.

Neri Ruz E., González C., de León Jaen S., Gutiérrez Escoto P., Kunhardt Urquiza E., OvadíaRosenfield L., Salazar López Ortiz C., Velázquez Castellanos P. *El jugo de arándano y su papel en las infecciones de las vías urinarias*. Artículo de revision: GinecolObstetMex. 77(11):512-7, 2009.

Olivas, G. y Barbosa, G. *Ediblecoatingsforfresh-cutfruits. Critical* Reviews in Food Science and Nutrition. Vol. 45, pp: 657-670, 2005.

Ortiz Araque, L., Rodoni, L., Darré, M., Ortiz, C., Civello, P. y Vicente, A., *Cyclic low dose UV-C treatments retain strawberry fruit quality more effectively than conventional pre-storage single high fluence applications.* Food Science and Technology, 92, pp.304-311. 2018

Rodoni, L., Zaro, M., Hasperué, J., Concellón, A. y Vicente, A., 2015. UV-C treatments extend the shelf life of fresh-cut peppers by delaying pectin solubilization and inducing local accumulation of phenolics. En: Food Science and Technology, 63(1), pp.408-414.

Santillo VM, Lowe FC. *Cranberry juice for the prevention and treatment of urinary tract infections.* Drugs of Today ,43(1):47-54, 2007.

Song K., Taghipour F., MohseniM. *Microorganisms inactivation by wavelength combinations of ultravioletlight-emitting diodes (UV-LEDs).*Science of the Total Environment, 665 . 1103–1110, 2019.

Vásquez, S.; Guillen, R.; Jaramillo, S.; Jimenez, A.; Rodríguez, R. 2012. *Funcionalidad de distintas variedades de arándanos*. VII Congreso Español de Ingeniería de Alimentos. Universidad de Castilla - La Mancha. España, 2012

Wei Yuan., Lijing Zhou, Guangrui Deng, Ping Wang, David Creech and ShiyouLi. *Anthocyanins, Phenolics, and Antioxidant Capacity of Vaccinium L. in Texas, USA*. Pharmaceutical Crops. 11-23, 2011.

Yao L.H., Jung Y.M., Tomas-Barberán F.A., Datta N., Singanusong R., Chen S.S.*Flavonoids in food and their health benefits.* Plant Foods Hum.Nutr. 59: 113-122, 2004.

Zapata, L.; Malleret, A.D.; Lesa, C.E.; Rivadeneira, M.F. (2010). *Estudio sobre cambios de la firmeza de bayas de arándanos durante su maduración*. Ciencia, Docencia y Tecnología. Año XXI N° 41, 2010.

Nueva topología de celda de segundo orden para la realización de filtros digitales recursivos de bajo ruido

Pacheco, Fabián E.[1], Ferrao, Hilda N.[1] y Pérez, Jorge O. [1]

(1) Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán.
fpacheco@herrera.unt.edu.ar; hnferrao@herrera.unt.edu.ar; jperez@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN

Se presenta una nueva topología de celda de segundo orden para la realización de filtros digitales recursivos, utilizando aritmética de punto fijo. La topología presentada produce bajo ruido a la salida del filtro, se compara el ruido a la salida para las realizaciones de un filtro bloqueo banda de sexto orden utilizando la nueva topología con las realizaciones que utilizan celdas canónicas directa y transpuesta; tanto para realizaciones cascada como paralelo. La topología propuesta se obtiene modificando la forma directa transpuesta, agregándole realimentaciones.

ABSTRACT

A new second order cell topology is presented for the realization of recursive digital filters, using fixed point arithmetic. The presented topology produces low noise at the output of the filter, the noise at the output is compared for the realizations of a sixth order band blocking filter using the new typology with those that use direct and transposed canonical cells; both for cascade and parallel realizations. The proposed topology is obtained by modifying the transposed direct form, adding feedback branch.

Palabras claves: filtro – digital – bajo - ruido

Keywords: filter- digital – low - noise

1 INTROCUCCIÓN

La función de transferencia, de orden N, de un filtro digital lineal e invariante en el tiempo, está dado por:

$$H_{k(z)} = \frac{A_0 + A_1 z^{-1} + \ldots + A_N z^{-N}}{1 + B_1 z^{-1} + \cdots + B_N z^{-N}} \quad (1)$$

La implementación del filtro digital puede hacerse empleando un microprocesador de propósitos generales, un microprocesador diseñado específicamente para aplicaciones de procesamiento de señales (μDSP), una matriz de compuertas programables (FPGA) o diseñando un circuito integrado de aplicación específica (ASIC); en todos los casos siempre es de interés la configuración que requiera la menor cantidad de recursos.

Al implementar el filtro es inevitable la cuantización de los valores de los coeficientes del filtro y de la señal [1] [2]. Como consecuencia de la cuantización de los coeficientes la función de transferencia implementada difiere de la original, cada topología presenta distinta sensibilidad a la cuantización de los coeficientes. A su vez, consecuencia de la cuantización de la señal el filtro presenta oscilaciones por ciclo límite y ruido a la salida. El ruido a la salida se analiza considerando a cada proceso de cuantización como una fuente de ruido que es procesada desde su origen hasta la salida del filtro; algunas topologías presentan menor ruido a la salida que otras.

No existe una solución óptima, una topología que minimice en forma simultánea la sensibilidad a la cuantización de los coeficientes y el ruido a la salida. Algunas estructuras presentan mejor sensibilidad, otras presentan menor ruido a la salida y algunas están libres de ciclos límite [2],[3].

En el área de control, donde se acostumbra a trabajar con frecuencia de muestreo mucho mayores que la frecuencia de Nyquist, se propuso el uso de estructuras que utilizan el operador delta. [4],[5],[6],[7]. Cuando la frecuencia de muestreo es mucho mayor que el ancho de banda de la señal las realizaciones de filtros digitales empleando el operador delta han demostrado ser efectivas, tanto por su baja sensibilidad como por su bajo ruido a la salida, en comparación con las estructuras tradicionales que emplean retardo; sin embargo, la efectividad se pierde al emplear frecuencias de muestreo más bajas [6].

El operador delta está dado por la expresión:

$$\delta^{-1} = \frac{\Delta z^{-1}}{1 - z^{-1}} \quad (2)$$

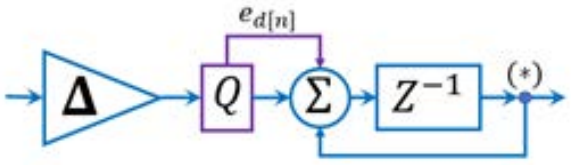


Figura 1: operador delta.

En la realización empleando el operador delta se reemplaza el operador de retardo en la realización directa por el operador delta, modificándose los coeficientes de la realización directa para obtener la función de transferencia especificada. El ruido a la salida del filtro tiene dos componentes, una debida a la implementación del operador delta, que se indica en la figura 1, y la otra se corresponde con la de la realización canónica. La fuente de ruido adicionada se controla implementando el operador delta en doble precisión, lo que implica un costo extra razonable. La efectividad del operador delta se debe a que, al utilizar frecuencias de muestreo elevadas, los polos del sistema se ubican próximos a $Z = 1$, el operador delta a su vez, tiene un polo en $Z = 1$, que interviene en el procesamiento de las fuentes de ruido correspondiente a la de la realización canónica, compensando la ganancia de los polos del filtro.

La topología propuesta se obtuvo agregando realimentaciones a la realización canónica transpuesta, a las realimentaciones agregadas corresponden un par de polos complejos conjugados sobre el círculo unitario. En forma similar a lo que ocurre en la implementación utilizando el operador delta, estos polos al ubicarse próximos a los polos de la función de transferencia de la celda de segundo orden compensan la ganancia en el procesamiento de la fuente de ruido.

En la sección 2 se revisa el efecto del escalado y de la cuantización de la señal en la implementación con aritmética de punto fijo, y las expresiones del ruido a la salida en las realizaciones con celdas canónicas directa y transpuesta. En la sección 3 se presenta la implementación con la nueva topología propuesta, la obtención de sus parámetros a partir de los coeficientes de la realización directa, el escalado para evitar rebasamiento y su figura de ruido a la salida. En la sección 4 se presentan los resultados obtenidos.

2 REALIZACIONES CON CELDAS DE SEGUNDO ORDEN CANÓNICAS DIRECTA Y TRANSPUESTA

2.1 *Implementación utilizando aritmética de punto fijo*

Se considera que el valor de los coeficientes se representa con $(B_c + 1)$ bits, incluyendo el bit de signo y el valor de la señal con $(B + 1)$ bits. El resultado exacto del producto tiene $(B_c + B + 1)$ bits, la suma de los productos se hace con esta cantidad de bits, pero la señal debe recortarse a $(B + 1)$ bits antes de realimentarse; en el presente trabajo este recorte se hace aplicando redondeo. El recorte en la representación del valor de la señal origina una fuente de ruido que es procesada y se manifiesta como ruido a la salida del filtro. Este ruido debido a la cuantización se modela en forma estadística como un ruido blanco, no correlacionado con la señal de entrada ni con el producido en los otros nodos del filtro en los que también se aplica el recorte de la señal. Cada fuente de ruido tiene media cero y una varianza:

$$\sigma_0^2 = \frac{2^{-2.B}}{12} \quad (3)$$

A su vez, la señal en los nodos de derivación debe estar acotada, para evitar que se produzca rebasamiento, para esto debe ajustarse la ganancia de la función de transferencia desde la entrada del filtro hasta cada nodo de derivación, en el presente trabajo esto se hace empleando norma L_p con $p = \infty$. Se hace referencia al escalado del $k_{ésimo}$ nodo restringido como:

$$\delta_k = \frac{1}{\|G_{in,k}\|_\infty} \quad (4)$$

Donde $G_{in,k}$ es la función de transferencia desde la entrada del filtro hasta el $k_{ésimo}$ nodo.

2.2 *Realización empleando retardo*

En las figuras 2 y 3 se representan la realización directa (DF2) y transpuesta (DF2T) de la $k_{ésima}$ celda canónica de segundo orden. En el caso de la realización en paralelo $A_{2,k} = 0$.

El nodo restringido de cada realización se indica como $W_{o,k}(Z)$, el escalado está dado por:

- Para la $k_{ésima}$ celda DF2

$$\delta_k = \left\| \frac{1 + B_{1,k}.e^{-j\Omega} + B_{2,k}.e^{-2j\Omega}}{G_{in,k-1(\Omega)}} \right\|_\infty \quad (5)$$

Donde $G_{in,k-1(\Omega)}$ es la ganancia de la función de transferencia desde la entrada del filtro hasta el nodo restringido de la $k_{ésima}$ celda. En la realización cascada, para la primera celda el escalado se hace agregando el multiplicador δ_1 a la entrada del filtro, en las demás celdas se modifican los coeficientes de avance $A_{i,k-1}$ de la celda anterior, multiplicándolos por δ_k. En la realización en paralelo se hace agregando el multiplicador δ_k, antes de cada celda. Para mantener la ganancia total del filtro en 0 dB, los coeficientes de avance $A_{i,k}$ se dividen en δ_k.

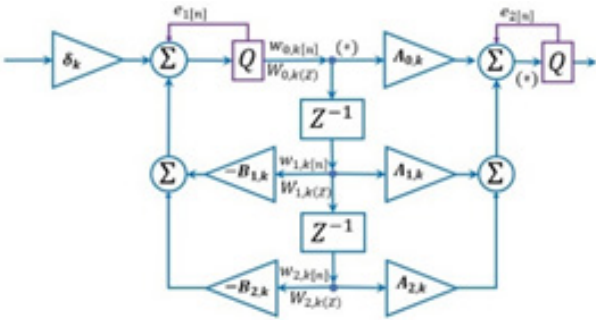


Figura 2: realización directa de celda canónica de segundo orden (DF2).

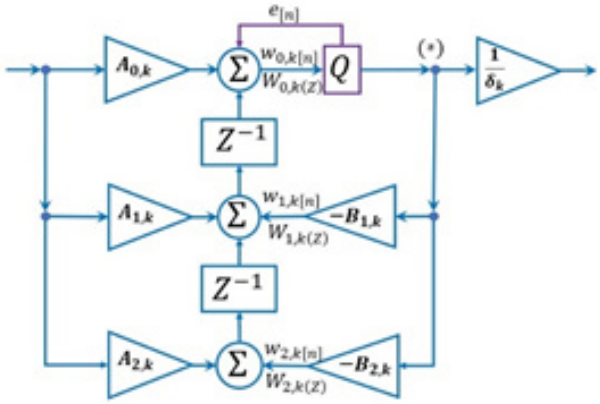


Figura 3: realización transpuesta de celda canónica de segundo orden (DF2T).

- Para la $k_{\text{ésima}}$ celda DF2T

$$\delta_k = \left\| \frac{1+B_{1,k}e^{-j\Omega}+B_{2,k}e^{-2j\Omega}}{G_{in,k-1(\Omega)}\cdot\left(A_{0,k}+A_{1,k}e^{-j\Omega}+AB_{2,k}e^{-2j\Omega}\right)} \right\|_\infty \quad (6)$$

En la realización cascada, el ajuste se hace modificando los coeficientes de avance $A_{i,k}$. En la realización en paralelo además de modificar los coeficientes $A_{i,k}$ se debe agregar un multiplicador $\frac{1}{\delta_k}$ después de cada celda.

El ruido a la salida del filtro debido a la $k_{\text{ésima}}$ celda está dado por:

$$N_y = \sigma_0^2 \left\| \frac{G_{out,k(\Omega)}}{\delta_k} \right\|_2^2 \quad (7)$$

Donde $G_{out,k(\Omega)}$ es la ganancia de la función de transferencia desde el nodo restringido en la $k_{\text{ésima}}$ celda hasta la salida del filtro

- Para la celda DF2

$$N_y = \sigma_0^2 \cdot \left\| G_{out,k(\Omega)} \cdot \left\| \frac{G_{in,k-1(\Omega)}}{1+B_{1,k}e^{-j\Omega}+B_{2,k}e^{-2j\Omega}} \right\|_\infty \right\|_2^2 \quad (8)$$

- Para la celda DF2t

$$N_y = \sigma_0^2 \cdot \left\| G_{out,k(\Omega)} \cdot \left\| \frac{G_{in,k-1(\Omega)}\cdot\left(A_{0,k}+A_{1,k}e^{-j\Omega}+AB_{2,k}e^{-2j\Omega}\right)}{1+B_{1,k}e^{-j\Omega}+B_{2,k}e^{-2j\Omega}} \right\|_\infty \right\|_2^2 \quad (9)$$

3 NUEVA TOPOLOGÍA DE CELDA DE SEGUNDO ORDEN

En la figura 4 se presenta la nueva topología de celda de segundo orden propuesta.

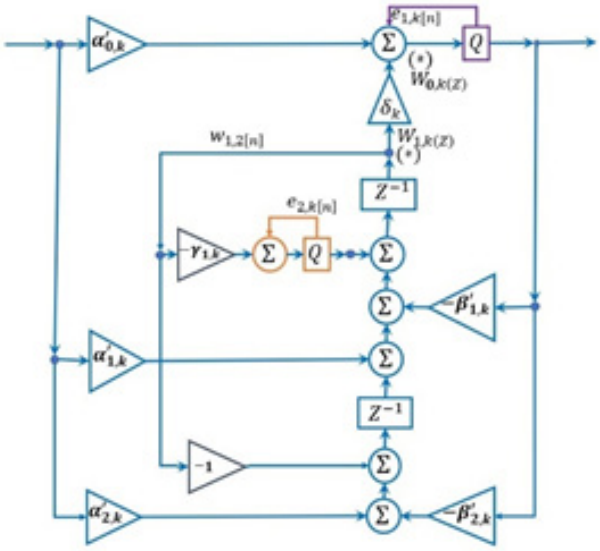


Figura 4: nueva topología de celda de segundo orden.

3.1 *Función de transferencia de la nueva topología*

La función de transferencia de la celda de segundo orden empleando la nueva topología está dada por:

$$H(Z) = \frac{\alpha'_{0,k}+\left[\alpha'_{0,k}\gamma_{1,k}+\delta_k\alpha'_{1,k}\right]\cdot z^{-1}+\left[\alpha'_{0,k}+\delta_k\alpha'_{2,k}\right]\cdot z^{-2}}{1+\left[\gamma_{1,k}+\delta_k\beta'_{1,k}\right]\cdot z^{-1}+\left[1+\delta_k\beta'_{2,k}\right]\cdot z^{-2}} \quad (10)$$

Los valores de los coeficientes α'_i y β'_i en función de los coeficientes de la realización directa se dan en la tabla 1.

3.2 *Ajuste por rebasamiento de la nueva topología*

Esta topología presenta dos nodos restringidos: $w_{0,k}$ y $w_{1,k}$, indicados en la figura 4. El ajuste para cada nodo restringido está dado por:

$$\delta_k^{w_0} = \left\| \frac{1+B_{1,k}e^{-j\Omega}+B_{2,k}e^{-2j\Omega}}{G_{in,k-1(\Omega)}\cdot\left(1+A_{1,k}e^{-j\Omega}+A_{2,k}e^{-2j\Omega}\right)} \right\|_\infty \quad (11)$$

$$\delta_k^{w_1} = \left\| \frac{1+B_{1,k}e^{-j\Omega}+B_{2,k}e^{-2j\Omega}}{\delta_k^{w_0}.G_{in,k-1(\Omega)}.(1+\gamma_1.Z^{-1}+Z^{-2})} \right\|_\infty \quad (12)$$

El ajuste se realiza modificando los coeficientes de avance $\alpha_{i,k}$; en la realización en paralelo se agrega un multiplicador igual a $\frac{1}{\delta_k^{w_0}}$ después de cada celda. El ajuste del nodo w_1 se hace con el multiplicado δ_k , siendo $\delta_k = \frac{\delta_k^{w_1}}{\delta_k^{w_0}}$.

Tabla 1: coeficientes de la implementación con la nueva topología.

α_0'	A_0	β_0'	1
α_1'	$\frac{A_1 - A_0.\gamma_1}{\delta}$	β_1'	$\frac{B_1 - \gamma_1}{\delta}$
α_2'	$\frac{A_2 - A_0}{\delta}$	β_2'	$\frac{B_2 - 1}{\delta}$

3.3 *Ruido a la salida de la nueva topología*

El ruido a la salida del filtro debido a la $k_{ésima}$ celda está dado por:

$$N_y = N_y^{w_0} + N_y^{w_1} \quad (13)$$

Donde:

$$N_y^{w_0} = \sigma_0^2.\left\| G_{out,k(\Omega)}.\left\| \frac{G_{in,k-1(\Omega)}.(1+\gamma_1.Z^{-1}+Z^{-2})}{1+B_{1,k}e^{-j\Omega}+B_{2,k}e^{-2j\Omega}} \right\|_\infty \right\|_2^2 \quad (14)$$

Es el ruido a la salida debido a la fuente de ruido generado en el nodo w_0. La expresión en el numerador $(1+\gamma_1.Z^{-1}+Z^{-2})$ corresponde a los polos sobre el círculo unitario de las realimentaciones agregadas, ubicando estos polos lo más cerca posible de los polos de la función transferencia se reduce el ruido a la salida:

$$N_y^{w_0} \approx \sigma_0^2.\left\| G_{out,k(\Omega)}^{S_1}.\|G_{in,k-1(\Omega)}\|_\infty \right\|_2^2 \quad (15)$$

Siendo significativamente menor al ruido a la salida de las realizaciones DF2 y DF2T.

$$N_y^{w_1} \approx \sigma_d^2.\left\| G_{out,k(\Omega)}^{w_1}.\frac{\|G_{in,k-1(\Omega)}\|_\infty.e^{-j\Omega}}{1+A_{1,k}e^{-j\Omega}+A_{2,k}e^{-2j\Omega}} \right\|_2^2 \quad (16)$$

Es el componente del ruido a la salida debido a la fuente de ruido en el nodo w_1. Donde σ_d^2 es la varianza de las fuentes de ruido originadas en las realimentaciones agregadas en la nueva topología, que se implementa con doble precisión, resultando $\sigma_d^2 \ll \sigma_0^2$.

3.4 *Implementación de la nueva topología*

Para cumplir con la restricción $\sigma_d^2 \ll \sigma_0^2$ a un costo razonable, se restringen los valores de $\gamma_{1,k}$ para poder representarlos con una longitud de palabra de sólo cuatro bits, incluido el bit de signo; esto permite implementar el producto en doble precisión a un bajo costo, haciendo operaciones de desplazamientos y sumas. En la figura 5 se presenta la ubicación de los ceros de la expresión $1+\gamma_{1,k}.Z^{-1}+Z^{-2}$ con esta restricción.

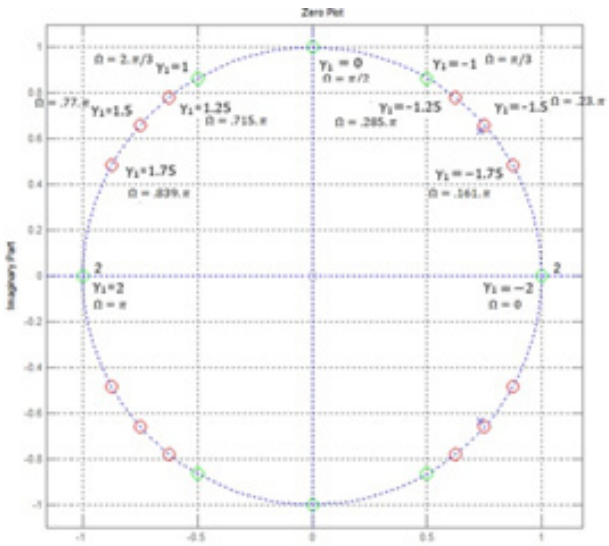


Figura 5: ubicación de los ceros con la restricción de representar el valor de $\gamma_{1,k}$ con cuatro bits.

4 RESULTADOS OBTENIDOS

4.1 *Filtro implementado*

Se implementó el mismo filtro pasa banda Chebyshev de sexto orden empleado en la referencia [1], la función de transferencia de este se presenta en la figura 6.

En la realización en cascada se aparea cada polo con el cero más próximo, se implementan dos realizaciones, ordenando las celdas en forma creciente por el módulo de los polos (1-2-3) y ordenándolas en forma decreciente (3-2-1).

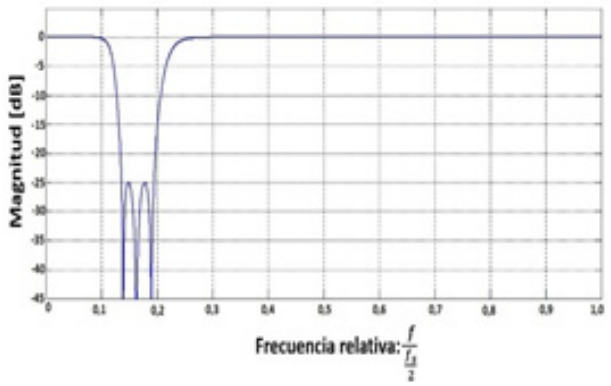


Figura 6: función de transferencia del filtro implementado.

En la tabla 3 se presenta la potencia y el valor pico de la estimados de la densidad espectral de ruido a la salida. Estos valores fueron validados en las simulaciones realizadas.

Tabla 3; ruido a la salida de las distintas realizaciones

Realización	Potencia (dB)	Valor Pico (dB)
Cascada 123 DF2	25,2	28,1
Cascada 321 DF2	29,1	29,6
Cascada 123 DF2T	17,2	29,2
Cascada 321 DF2T	16,5	27,5
Paralelo DF2	19,3	30,7
Paralelo DF2	19,2	30,9
Topología propuesta cascada 123	6,0	11,9
Topología propuesta cascada 321	7,0	10,0
Topología propuesta Paralelo	7,0	11,8

En las siguientes figuras 7 a 9 se representan la figura de ruido a la salida, tanto estimada como la resultante de las simulaciones para la implementación con la nueva topología propuesta.

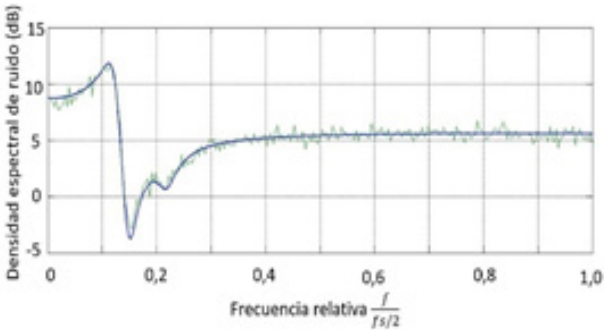


Figura 7: figura de ruido de la realización cascada 1-2-3 con la topología propuesta.

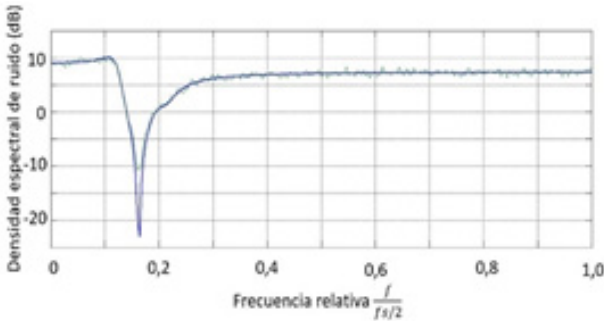


Figura 8: figura de ruido de la realización cascada 3-2-1 con la topología propuesta.

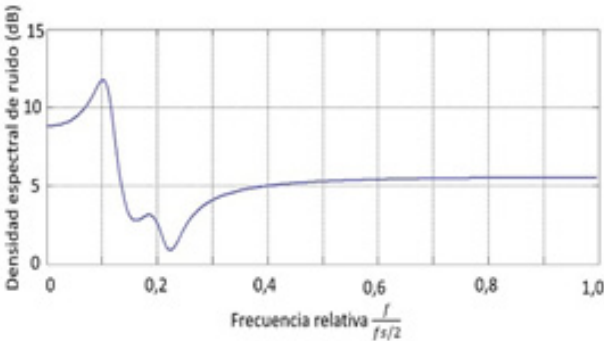


Figura 9: figura de ruido de la realización paralelo con la topología propuesta.

5 CONCLUSIONES

Todas las realizaciones con la nueva celda de segundo orden propuesta tienen bajo ruido, presentando poca dispersión entre las tres realizaciones. Tienen un nivel de ruido a la salida inferior en 9,5 a 10,5 dB que la mejor de las realizaciones directas canónicas.

Al restringir el valor del coeficiente de $\gamma_{1,k}$, para poder implementarlo con solo 4 bits, el costo adicional de la nueva topología es bajo, requiere tres sumadores de $(L_c + L + 4)$ bits, dos registros de desplazamiento de $(L_c + L + 4)$ bits y un cuantizador de $(L_c + L + 4)$ a $(L_c + L)$ bits adicionales.

6 REFERENCIAS

[1] Jackson, L., Roundoff-Noise Analysis for Fixed-Point Digital Filters Realized in Cascade or Parallel Form, IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics, Vol. AU-18, No 2, 107-122, 1970.

[2] Vaidyanathan, Low-Noise and Low-Sensitivity Digital Filters, Handbook of Digital Signal Processing, Chapter 5, Academic Press, Inc. 1987.

[3] Diniz, P. y Petraglia, M., Digital Filters, Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering. JohnWiley & Sons, Inc, 2007.

[4] Middleton, R. y Goodwin, G., Improved Finite Word Length Characteristics in Digital Control Using Delta Operators, lEEE Transactions on automatic control, Vol. AC-31. No. I1, November 1986.

[5] Goodwin, G.; Middleton, R. y Poor, V., High-speed Digital Signal Processing and Control, Proceedings of the IEEE, Vol. 80. No. 2, February 1992.

[6] Kauraniemi, J.; Laakso, T.; Hartimo, I. y Ovaska, S., Delta Operator Realizations of Direct-Form IIR Filters, IEEE Transactions on Circuits and Systems, Vol. 45, No 1, 1998.

[7] Kauraniemi, J. y Laakso, T., Roundoff Noise Analysis of modified Delta operator, IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 1997.

[8] Pacheco, F; Labastida, R.; Ferrao, H.; y Pérez, J., Realización de filtro ranura recursivo de segundo orden de bajo ruido, Jornadas 2016 en Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación, 2016.

Rendimiento de colectores heat pipes de placa plana de acero y cobre, para el calentamiento de aire

Togo, Pablo S.[1]; Villalba, Gustavo A.[1]; Biasoni, Enrique M.[1]; Larcher, Leda[1]; Gomez Khairallah, Aníbal O.[2] y Cattaneo, Carlos A.[1,2]

(1) Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero.
psebastisntogo@gmail.com;gav@unse.edu.ar
(2) Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Santiago del Estero.
agomez@unse.edu.ar;cacatta@unse.edu.ar

RESUMEN

El intercambio de calor entre fluidos como el agua y el aire fue analizado por medio de colectores solares, diseñados y construidos en dos materiales como el hierro (acero) y el cobre. La construcción íntegra la realizó el grupo de trabajo, basado en tecnología de termosifón bifásico cerrado, de tipo Heat Pipe de placa plana, representando una excelente alternativa para el desarrollo de sistemas de colectores solares, basados en una fuente de energía renovable. Describimos el desarrollo y evaluación del desempeño de los dos colectores solares de placa plana, en calentamiento de aire. La selección del tipo de fluido de trabajo, el agua y su nivel de carga en el sistema, fueron decisiones importantes y complejas en el desarrollo del equipo, ya que existen variados condicionantes relacionados al desempeño del sistema en función de estos dos factores. Las variables mensuradas como temperatura, radiación, velocidad del aire entre otras permitieron evaluar el rendimiento de los colectores para calentar aire. Empleamos dos caudales de 0,0024 m^3/s y 0,0033 m^3/s, observando un rendimiento mayor para el caudal de aire más alto en ambos colectores y un incremento de la temperatura del aire que resulta interesante para diversas aplicaciones.

Palabras claves: heat pipe - colector - rendimiento

ABSTRACT

The heat exchange between fluids such as water and air was analyzed by means of solar collectors, designed and built in two materials such as iron (steel) and copper. The entire construction was carried out by the working group, based on closed two-phase thermosiphon technology, of the flat plate Heat Pipe type, representing an excellent alternative for the development of solar collector systems, based on a renewable energy source. We describe the development and evaluation of the performance of the two flat plate solar collectors in air heating. The selection of the type of working fluid, the water and its load level in the system, were important and complex decisions in the development of the equipment, since there are various conditions related to the performance of the system based on these two factors. The measured variables such as temperature, radiation, air speed, among others, allowed evaluating the performance of the collectors to heat air. We use two flow rates of 0.0024 m3 / s and 0.0033 m3 / s, observing a higher performance for the higher air flow in both collectors and an increase in air temperature that is interesting for various applications.

Keywords: heat pipe - manifold - performance

1. INTRODUCCION

En ingeniería se encuentran muchas aplicaciones del proceso de intercambio de calor entre dos fluidos a diferentes temperaturas y separados por paredes solidas. Muchos equipos para el intercambio de calor en la práctica son irreversibles, destruyen exergía y generan entropía. Reducir estos efectos son un reto para mejorar los procesos y dispositivos, así como para desarrollar nuevos equipos y procedimientos para la optimización del calor generado o recuperado

1.1 Tubos de calor y termosifones

El tubo de calor y los termosifones bifásicos (TSB) son una fuente de energía limpia y económica que aprovecha el calor solar o el residual de desecho de algún proceso, ampliamente utilizados en sistemas de recuperación de calor, incluyendo celdas solares fotovoltaicas, hornos de cocción, equipos electrónicos, intercambiadores de calor y sistemas de enfriamiento electrónico, así transfieren calor adecuadamente una distancia dada para alguna aplicación conveniente. Los termosifones son dispositivos pasivos, pues no consumen ¨energía¨ para su funcionamiento, tienen alta eficiencia, estructura simple, confiabilidad y bajo costo económico y ecológico. Los equipos heat pipe de placa plana, son un tipo especial de heat pipes, el cual puede transportar mayor flujo de calor con respecto a los heat pipe cilíndricos, además una desventaja comparativa de los equipos heat pipe cilíndricos es que no son una solución deseada por las siguientes razones, su alto peso, la pequeña relación superficie-volumen y el gran tamaño Rassoulinejad (2012). Otras ventajas del empleo de estos equipos son: • El heat pipe es un sistema cerrado por lo que la adecuada elección de los materiales, eliminaría los problemas de corrosión. • Los heat pipe al ser dispositivos pasivos, no se requieren bombas o ventiladores para mover el fluido de trabajo en el colector. • Se pueden diseñar y fabricar como módulos lo que facilitaría la instalación y el mantenimiento del equipo. Actualmente, se utilizan en la fabricación de termosifones diferentes materiales y con geometrías planas, para aprovechar el calor de fuentes de energía alternativas (radiación solar), la recuperación de energía geotérmica y la mejora de su potencial con la ayuda de bombas de calor. Y que podría ser aplicado en la calefacción de edificios y almacenes (Vasiliev et al., 2017).

1.2 Del fluido y los materiales solidos

Los tubos de calor presentan una conductividad térmica altamente eficiente. El cobre es uno de los metales que presenta mejor capacidad de conducir calor, tiene una constante de conductividad térmica de 400 W/m.K, mientras que los tubos de calor pueden oscilar entre 5000 y 200000 W/m.K (Boyd corporation, 2018). El calor absorbido en la evaporación es transportado por la zona adiabática y liberado en la condensación donde se aprovecha para algún proceso (Reay & Harvey, 2012). El fluido de trabajo juega un papel importante en el rendimiento de los termosifones. Al elegir el fluido, se deben tener en cuenta algunas características tales como propiedades de ebullición, presión de vapor, conductividad térmica y tensión superficial. Un fluido con propiedades termo físicas mejoradas podría conducir a mejoras en el rendimiento de un termosifón (Kamyar, Ong, & Saidur, 2013). Para una sustancia, como el agua en estado líquido, estando a una temperatura y presión menor a las de saturación (100°C y 1 atm) es muy factible que la sustancia empiece a absorber calor y con ello cambie su temperatura. Si a 25°C se le suministra calor al agua, la energía suministrada se denomina calor sensible, siempre y cuando no genere un cambio de fase, solo incrementa su temperatura pasando por ejemplo a 60 °C. De otra manera, el calor suministrado a la temperatura de ebullición de 100 °C (1 atm) no se emplea en aumentar dicha temperatura. Se usa en cambiar el estado de líquido a gas y se denomina calor latente. Y aunque se aumente el calor de entrada del sistema de calentamiento, este permanecerá a la misma temperatura, siempre y cuando exista fluido líquido (Rathod & Banerjee, 2013). Se debe señalar, además, que sólo existe ebullición en el valor de temperatura y presión exacto para cada sustancia. Estas son una presión de saturación y una temperatura de saturación. Si se disminuye la presión de saturación, la temperatura de saturación también lo hará y si se incrementa la presión, la temperatura aumentará. Así, por ejemplo, a una presión de 70,1 kPa (0,7 atm) el agua líquida pasa también a vapor, pero a 90°C; mientras que a 198,5 kPa (2 atm) la temperatura es de 120°C. Si se logra una presión de alto vacío el agua hervirá a temperaturas tan bajas como 0.01°C y para cada pareja de presión y temperatura existirá un calor latente diferente o entalpía de vaporización. El paso de líquido a gas y de este a líquido nuevamente, es la base de numerosos procesos termodinámicos, en algunos de estos procesos se emplean los tubos de calor (heat pipe) y los termosifones bifásicos (TSB). La diferencia básica entre un tubo de calor y un termosifón radica en que el segundo no requiere material capilar para el retorno del fluido líquido desde el condensador al evaporador y el retorno se hace por la acción de la fuerza de la gravedad (Segovia, 2013).

1.3 Del rendimiento de los Heat Pipes y Termosifones

El rendimiento de transferencia de calor de un termosifón, así como el de un tubo de calor, se ve significativamente afectado por la geometría, el ángulo de inclinación, la temperatura de vapor, la relación de llenado y las propiedades termo físicas del fluido de trabajo. Entre ellos, la relación de llenado que se define como la relación de volumen del líquido al volumen del evaporador (Jafari et al., 2016). Además, la cantidad de fluido de trabajo utilizado se estima como el volumen mínimo que permite una operación de termosifón estable. Se han informado muchas investigaciones experimentales sobre el rango apropiado de proporción de llenado. Por su parte, Jiao, et al., (2008), sugirió como valor óptimo de llenado el 20% del volumen del evaporador. La característica básica que hace tan efectiva esta tecnología de transferencia de calor, consiste en el calor latente de cambio de fase del fluido de trabajo que opera en el interior del sistema, fluido que se evapora y condensa cíclicamente, operación que permite la transferencia de calor entre el foco de calor y el lugar donde este es evacuado con una característica que lo hace único, la diferencia de temperatura entre estos puntos es en extremo baja, además que su rendimiento es elevado y sus dimensiones relativamente reducidas (Togo 2020)

1 MATERIALES Y METODO

1.1 Descripción del equipo diseñado

Se confecciono dos equipos placa plana de diferentes metales, para uno de los equipos se empleó láminas de cobre (Imagen a) y para el otro equipo láminas de acero, ambos de calibre 24. Se cortaron dos secciones de las láminas de 1,2 x 0,1m para confeccionar la placa colectora.



Imagen a: cortes de chapa de cobre

Luego se conformaron molduras longitudinales y transversales en las secciones de la lámina (Imagen b) y (Imagen c)



Imagen b: ejecución de molduras con el pestañador conformador

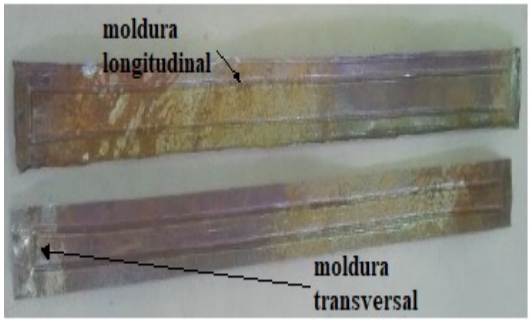
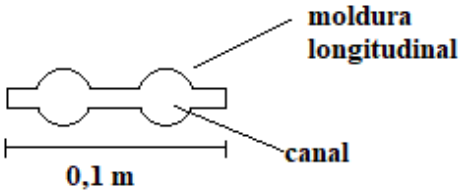


Imagen c: chapas de cobre con las molduras longitudinales y transversales.

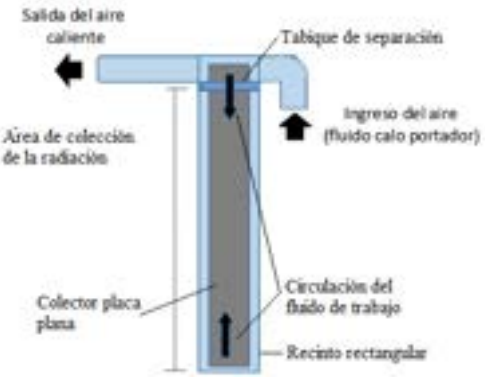
A una de las láminas se le pliega los cuatro bordes para formar unas solapas, las cuales se doblan sobre la segunda lámina al enfrentarlas. El hermetismo del sistema de láminas enfrentadas se logra por medio de una soldadura perimetral con soldadura blanda de bajo punto de fusión (estaño 50 %). El enfrentamiento de las láminas y su cierre hermético, provoca que las molduras efectuadas en las láminas de acero y de cobre conformen canales longitudinales que se comunican a su vez entre sí por medio de dos canales transversales, como se observa en el croquis I. En estos canales el fluido de trabajo (agua), tiene libertad de circulación, además de otorgar rigidez mecánica al colector placa plana.



Croquis I: vista de corte transversal del heat pipe de placa plana

La placa colectora cuenta en sus dos extremos con puertos de acceso rápido que facilitan la carga del colector con el fluido de trabajo, así como el monitoreo del sistema en funcionamiento. También se pinta de negro mate para optimizar la absorción de

la radiación incidente en el colector.
El colector se ubica en un recinto rectangular de madera (fenólico) cuyas dimensiones fueron 1,25x0,17x 0,1m, recubierto en sus costados y en la cara inferior con material aislante (lana de vidrio de 0,05m de espesor). A 15cm del extremo superior del recinto, se delimita una región con un tabique de madera, en esta región el aire exterior se forzará para su ingreso por uno de los laterales (derecho), atravesando la superficie del colector de forma transversal y siendo extraída por el otro lateral (izquierdo). En esta región delimitada por el tabique es donde se producirá la transferencia de calor de la lámina del colector (superficie caliente) al aire que circula. El aire que ingresa se encuentra a temperatura ambiente, es forzado a circular a través de unos orificios en la estructura de madera y atraviesa la región de intercambio, mediante un ducto de 0,1m de diámetro, el aire calentado es expulsado al ambiente. El ingreso del aire al recinto de madera y su circulación transversal en el área delimitada por un tabique es empleando un extractor de 12 W. La región del recinto ubicada debajo del tabique, donde se encuentra el área de captación del colector, el aire no circula y se encuentra estanco. En el croquis II, se puede observar el esquema del equipo a ensayar y el sentido de circulación del fluido de trabajo y del aire.



Croquis II: vista de planta del colector acoplado al sistema de transporte del fluido caloportante

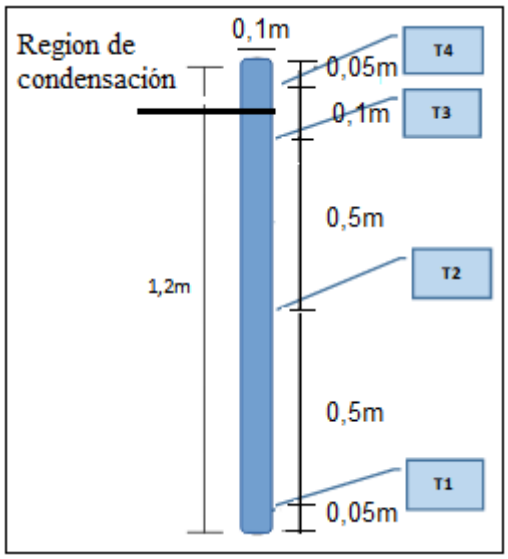
La cubierta del colector es de policarbonato alveolar transparente de 0,004 m de espesor, material que permite que la radiación solar lo atraviese y llegue a la placa colectora.
Se empleó como fluido de trabajo agua destilada, debido a sus propiedades termodinámicas: calor específico y calor latente de vaporización altos, las condiciones de vaporización del fluido temperatura y presión se corresponden con las condiciones de trabajo del colector y es de fácil adquisición. El grado de llenado de la placa colectora fue del 30% del volumen total del colector y se evacuó el aire del interior del colector.

En la imagen d, se observa la disposición del colector placa plana montado en el recinto con los ductos de entrada y salida de aire. También algunos instrumentos de medición



Imagen d: colectores de hierro y cobre con los sistemas de aire en funcionamiento.

1.2 Método
Las medidas se realizaron en la provincia de Santiago del Estero, en diferentes días del mes de julio del 2021. Los colectores de cobre y acero se ensayaron en simultaneo. El ángulo de inclinación de los colectores es de 28° para aprovechar al máximo la radiación, de manera que esta incida perpendicular al plano del colector. Las medidas se realizaron entre las 12:00h y las 16:20h, horario en el que se encuentra comprendido el mediodía solar para esta época del año.
Se registro la velocidad del aire a la salida del colector empleando anemómetro de paleta, lo cual permitió el cálculo del caudal del aire (fluido caloportador), se registró la radiación incidente en el plano del colector empleando un radiómetro. Se midió la temperatura del aire a la entrada y salida del colector; además se ubicaron cuatro termocuplas (croquis III) para determinar la temperatura del colector en distintos puntos.



Croquis III: disposición las termocuplas (T1,T2,T3,T3) en el heat pipe de placa plana.

2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de los valores medidos de temperatura y radiación en el plano del colector en los días de ensayo, se determina el rendimiento instantáneo de los colectores, mediante la ecuación (1) desarrollada por Duffie (2013), se define como la relación entre el flujo energético que llega a la superficie de éste y el flujo de calor útil que se transmite al fluido caloportador.

$$\eta = \dot{m} C_p \frac{(T_S - T_e)}{A\ I_i} \quad (1)$$

Donde $\dot{m}$ es el flujo másico en kg/s, C_p calor específico del aire en J/(kg.°C), Ts temperatura de salida del aire del condensador en °C, Te temperatura de entrada del aire del condensador en °C, A área del colector en m^2 (se consideró el área del recinto donde el tubo absorbe la radiación solar) y I_i intensidad de la radiación instantánea en W/m^2. Primero analicemos los resultados de los ensayos realizados para un caudal de aire de 0,0024 m3/s en adelante se denominará a este caudal de aire como caudal de aire bajo.

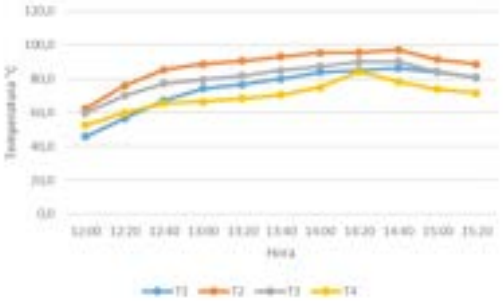


Figura 1a: temperatura vs tiempo en colector de Cu, con caudal 0,0024 m^3/s

En las figuras 1a, observamos las distribuciones de temperatura a lo largo de los Heat Pipe de chapas de cobre y en la figura 1b, las distribuciones de temperatura a lo largo de los Heat Pipe de chapas de hierro (acero), las temperaturas T1, T2 y T3 se miden en evaporador del Heat Pipe, T1 a 5 cm de la base, T2 en el medio y T3 5 cm antes que termine, la temperatura T4 se mide en el centro del condensador del Heat Pipe. Se puede observar que la zona media del evaporador (T2) es la zona de mayor temperatura mientras que el condensador (T4) es la zona de menor temperatura, también se observa que la diferencia entre las distintas temperaturas medidas son menores para el Heat Pipe de cobre.

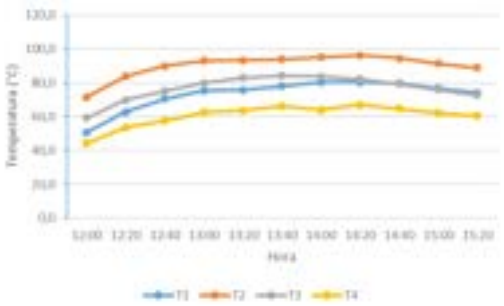


Figura 1b: temperatura vs tiempo en colector de Fe, con caudal 0,0024 m^3/s

En la figura 2 presentamos los resultados para el rendimiento de los Colectores solares con Heat Pipe de placa plana, en la misma podemos observar que el colector solar con el Heat Pipe de cobre tiene mejor rendimiento que el usa el Heat Pipe de hierro (acero), En la misma se puede observar la variabilidad de los datos en función de la hora de la medición, mostrando como influye la radiación solar y las variables ambientales durante el ensayo, por lo tanto, se calcularon los valores promedio para el tiempo de medición, obteniéndose un rendimiento promedio de 40,4% para el Colector solar con Heat Pipe de cobre y un rendimiento promedio de 29,5% para el Colector solar con Heat Pipe de hierro.

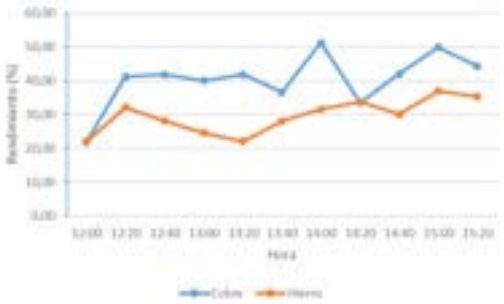


Figura 2: rendimiento vs tiempo en ambos colectores con caudal de 0,0024 m^3/s

Analicemos ahora los resultados de los ensayos realizados para un caudal de aire de 0,0033 m3/s en adelante se denominará a este caudal de aire como caudal de aire alto. En las figuras 3a observamos las distribuciones de temperatura a lo largo de los Heat Pipe de chapas de cobre y en la figura 3b las distribuciones de temperatura a lo largo de los Heat Pipe de chapas de hierro. Aquí también se observa una uniformidad en las temperaturas del Heat Pipe de Cobre manteniendo a T2 como la mayor temperatura y a T4 como la menor temperatura. Mientras que para el Heat Pipe de hierro ya no se observa ese fenómeno ya que en este Heat Pipe con este flujo de aire la temperatura T3 es la mayor y T1 es la menor temperatura.

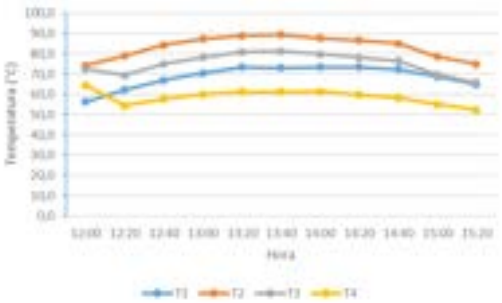


Figura 3a: temperatura vs tiempo en colector de Cu, con caudal 0,0033 m^3/s

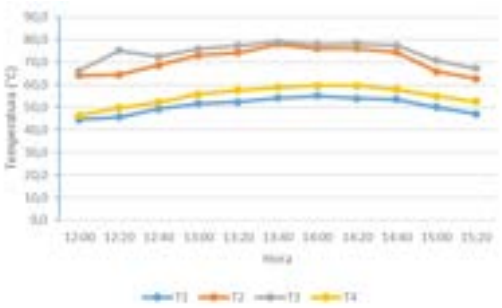


Figura 3b: temperatura vs tiempo en colector de Fe, con caudal 0,0033 m^3/s

En la figura 4 presentamos los resultados para el rendimiento de los colectores solares con Heat Pipe y con flujo de aire alto, en la misma podemos observar que el Heat Pipe de cobre tiene mejor rendimiento que el de hierro, con valores promedio para el tiempo de medición de 58,5% para el Heat Pipe de cobre y un rendimiento promedio de 47,1 para el Heat Pipe de hierro.

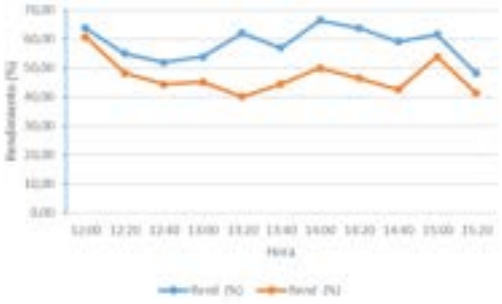


Figura 4: rendimiento vs tiempo en ambos colectores con caudal de 0,0033 m^3/s

Con respecto al incremento promedio en la temperatura del aire que circula por el condensador del colector solar, los resultados se presentan en la figura 5, para el Colector solar con Heat Pipe de cobre el incremento en la temperatura del aire se mantiene casi constante con la variación de flujo de aire, mientras que para el Colector solar con Heat Pipe de hierro se observa un aumento en el incremento de la temperatura del aire que circula por el condensador cuando se aumenta el flujo de aire.

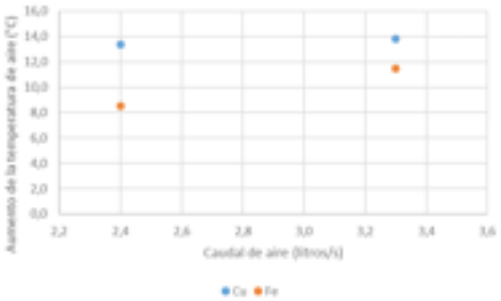


Figura 5: variación de temperatura vs caudal de aire

En la figura 6 podemos observar cómo varían los rendimientos promedio de los Colectores solares con Heat Pipe con el flujo de aire en el condensador del colector solar. Podemos vemos que para los caudales de aire usados el rendimiento promedio de ambos colectores solares aumenta con el aumento del flujo de aire.

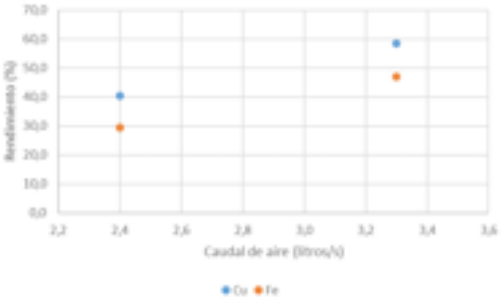


Figura 6 : variación de temperatura vs caudal de aire

En el ensayo de los equipos a caudal de aire bajo, el colector de cobre en promedio alcanza un rendimiento instantáneo del 40,4% mientras que el colector de hierro (acero) del 29,5%. Al incrementar el caudal de aire que circula por la región de condensación, en ambos colectores se incrementan el rendimiento instantáneo, el colector de cobre en promedio alcanza 58,5% y 47,1% para el colector de acero.

3 CONCLUSIONES

El heat pipe de placa plana construido y diseñado se desempeño favorablemente en los parámetros de estudio. Los materiales de construcción empleados son de bajo costo y de fácil adquisición, las herramientas empleadas son comunes y se las puede encontrar en un taller de mediana envergadura, por ello es accesible. El sistema se acopló a diferentes dispositivos de medición, como sistemas de adquisición de datos para medir variables como la temperatura, radiación y otras como velocidad del aire. Las variables medidas en los colectores en los días de ensayo, permiten determinar que los equipos alcanzan valores de rendimiento de interés. En ambos equipos se observa el incremento de la

temperatura del aire, siendo este incremento en promedio cercano a los 14°C para el cobre y del 8°C para el acero, cuando se ensaya con menor flujo de aire; al incrementar el flujo de aire que circula en la región de condensación del colector el cobre incrementa levemente llegando a los 14°C, mientras que el acero llega a un valor promedio cercano a los 12°C. Los incrementos alcanzados en la temperatura del aire, hacen que los heat pipes sean una alternativa de interés para su empleo domiciliario o en alguna actividad industrial que requiera calentamiento de aire. Como sugiere los estudios teóricos el colector de cobre tiene un rendimiento más alto y se logra un incremento un poco mayor en la temperatura del aire.

4 REFERENCIAS

Berrio Betancur, C. A., Berrio Betancur, J. M., & Hernández Luján, G. D. *Construcción de un termosifón a escala de laboratorio*. (Doctoral dissertation, Instituto Tecnológico Metropolitano. (2019).

Duffie, J. A., & Beckman, W. A. Solar Radiation. *Solar Engineering of Thermal Processes, 4th. Ed.,* Hoboken, New Jersey: Wiley, (2013).

Handayani, T., Harvey, A. P., Dalton, J., & Reay, D. Selection of the optimum working fluids in organic rankine cycles using TOPSIS. Chemical Engineering Transactions, 29, 139-144. (2012).

Kamyar, A., Ong, K. S., & Saidur, R. Effects of nanofluids on heat transfer characteristics of a two-phase closed thermosyphon. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, *65*, 610-618. (2013).

Peyghambarzadeh, S. Shahpouri, S. Aslanzadeh, N. Rahimnejad, M. Thermal performance of different working fluids in a dual diameter circular heat pipe. *Ain Shams Engineering Journal,* 4, 855–861. (2013).

Rassoulinejad-Mousavi, S. M., Porkhial, S., Layeghi, M., Nikaeen, B., & Samanipour, H. Experimental study on thermal behavior of a stainless steel-di water flat plate heat pipe. *World Applied Sciences Journal*, *16*(10), 1393-1397. (2012).

Rathod, M. K., & Banerjee, J. Thermal stability of phase change materials used in latent heat energy storage systems: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, *18*, 246-258. (2013).

Togo, P. Gomez Khairallah, A. Cattaneo, C. Colector solar tubular heat pipe para el calentamiento de aire. *Investigaciones en facultades de Ingeniería del NOA.* 6, 139-144. (2020).

Vasiliev, V. V., Jones, R. M., & Man, L. I.. *Mechanics of composite structures*. CRC Press. (2017)

Sensibilidad del rendimiento de una columna de carbonatación frente a cambios de temperatura en las corrientes de entrada

Irahola Ferreira, Jaime A.[1]

(1) Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.
irahola.j@gmail.com

RESUMEN

Se presenta un estudio de sensibilidad del rendimiento de una columna de carbonatación a la variación de la temperatura de las corrientes de entrada en la producción de bicarbonato de sodio. Se estudia una columna de 13 platos perforados con la etapa 11 refrigerada. Se tomó como parámetro la temperatura de la corriente de alimentación gaseosa y se varió la misma en incrementos de 5°C, desde 30 a 80°C. Para cada valor del parámetro, se simuló la columna para diferentes temperaturas de la corriente de alimentación de salmuera amoniacal, comprendida en un rango de 10 a 35°C, y un paso entre dos valores consecutivos de 5°C (66 simulaciones). Se encontró que la concentración de la corriente de salida de producto disminuye y su temperatura aumenta, a medida que se incrementa la temperatura de las corrientes de alimentación. La influencia sobre la concentración es 8 veces mayor y 1,45 veces mayor sobre la temperatura, por °C de variación de la temperatura de la corriente liquida que por °C de variación de la corriente de gaseosa. Otro resultado, es un nomograma, que permite determinar gráficamente, cuáles son las condiciones de la corriente de salida, para diferentes entradas.

ABSTRACT

A study of the sensitivity of the performance of a carbonation column to the variation of the temperature of the inlet streams in the production of sodium bicarbonate is presented. A column of 13 perforated plates is studied with stage 11 refrigerated. The temperature of the gaseous feed stream was taken as a parameter and it was varied in 5 °C increments, from 30 to 80 °C. For each value of the parameter, the column was simulated for different temperatures of the ammonia brine feed stream, comprised in a range from 10 to 35 °C, and a step between two consecutive values of 5 °C (66 simulations). It was found that the concentration of the product outlet stream decreases and its temperature increases, as the temperature of the feed streams increases. The influence on the concentration is 8 times greater and 1.45 times greater on the temperature, per ° C variation in the temperature of the liquid stream than per °C variation in the gas stream. Another result is a nomogram, which allows to determine graphically, what are the conditions of the output current, for different inputs.

Palabras claves: Sensibilidad - Rendimiento - Columna de Carbonatación - Simulación.

Keywords: Sensitivity - Performance - Carbonation Column - Simulation.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 *Contexto*

El carbonato de sodio (Na_2CO_3), también conocido como barrilla, natrón, soda, ceniza de soda, soda Ash, soda solvay, trona, puede hallarse en la naturaleza u obtenerse artificialmente con los procesos Solvay o Leblanc. En 1861, Ernest Solvay redescubrió y mejoró el proceso que lleva su nombre: basado en la sal común, piedra caliza y amoníaco. La competición entre los dos procesos duró años, pero la relativa simplicidad, los costes de operación reducidos y sobre todo el reducido impacto ambiental del proceso Solvay, aseguró su éxito. A partir de 1861, la producción con el método Leblanc disminuyó y prácticamente, desapareció durante la primera guerra mundial, a la par que también disminuyó el precio del carbonato de sodio. (Cervera, 2006).

La soda Ash, se usa como materia prima en multitud de ramas de la industria, como ser: siderurgia, vidrio, detergentes, regulador de pH, cerámica, etc. A los usos tradicionales, se debe agregar que el carbonato de sodio es un componente importante en la producción de carbonato de litio. Brevemente se puede decir que luego de dos etapas previas de precipitación y purificación de la salmuera que contiene litio, finalmente, en una última etapa, éste es precipitado caliente como carbonato de litio desde la salmuera purificada mediante la adición de carbonato de sodio. (Diaz, 2013). Por lo tanto, se prevé que, a la demanda mundial, se agregue la demanda regional en mayor medida.

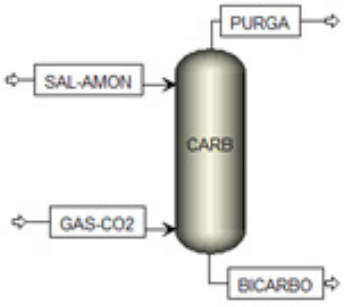


Figura 1. Corrientes de la Columna de carbonatación.

1.2 *Proceso Solvay*

La reacción global en el proceso es:

$$CaCO_3 + 2NaCl \rightarrow Na_2CO_3 + CaCl_2$$

La producción de bicarbonato de sodio en la columna de carbonatación está dada por las reacciones (Wagialla, 1992):

$$NH_3 + H_2O + CO_2 \rightarrow (NH_4)HCO_3$$

$$(NH_4)HCO_3 + NaCl \rightarrow NH_4Cl + NaHCO_3$$

El dióxido de carbono que se utiliza es el que se obtiene de la calcinación de la piedra caliza y de la recuperación durante la descomposición térmica del bicarbonato en carbonato de sodio. El amoniaco se introduce a la columna como una solución de salmuera amoniacal previamente obtenida en una columna de absorción.

La columna de carbonatación actúa como el corazón del proceso Solvay El bicarbonato es formado por absorción de dióxido de carbono en la salmuera amoniacal. El bicarbonato que se obtiene es lavado y filtrado en un filtro rotatorio y luego enviado a secado - etapa de calcinación - (en general, se usa un calcinador calefaccionado con vapor) donde el bicarbonato se descompone en carbonato de sodio según la reacción:

$$2NaHCO_3 \rightarrow Na_2CO_3 + CO_2 + H_2O$$

Finalmente, el carbonato es enfriado y tamizado. (Irahola, 2021)

En el trabajo de Cervera et al, (2006) se puede ver un desarrollo amplio referente al diseño y especificación de todos los equipos involucrados en el proceso de soda Solvay. Consideran una torre de carbonatación con una etapa de refrigeración. pero no tienen en cuenta la funcionalidad con la temperatura de todas las propiedades, en cada una de las etapas de la torre. También se puede ver en la bibliografía (Cormos, 2007) un trabajo respecto a una mejor manufactura de soda Ash usando el simulador AspenPlus. Si bien se presenta la simulación de una planta real, poco o nada, se dice del estudio de cada etapa. Sin embargo, es valioso saber que el modelado con Aspen plus dio como resultado simulaciones muy representativas de la realidad.

Reacción	Tipo	Estequiometría
1	Equilibrio	$NH_3 + H_2O \leftrightarrow OH^- + NH_4^+$
2	Equilibrio	$H_2O + HCO_3^- \leftrightarrow CO_3^{2-} + H_3O^+$
3	Equilibrio	$2\ H_2O + CO_2 \leftrightarrow HCO_3^- + H_3O^+$
4	Equilibrio	$2\ H_2O \leftrightarrow OH^- + H_3O^+$
$NaHCO_3$	Sal	$NaHCO_3 \leftrightarrow HCO_3^- + Na^+$
NH_4HCO_3	Disociación	$NH_4HCO_3 \rightarrow HCO_3^- + NH_4^+$
NH_4CL	Disociación	$NH_4CL \rightarrow Cl^- + NH_4^+$

Figura 2. Reacciones químicas consideradas en el Modelo

En muchos libros de texto se menciona el proceso Solvay como uno de los procesos más ampliamente usado, pero, por el contrario, no se ha encontrado en la literatura información que permita disponer de la funcionalidad con la temperatura de propiedades

termodinámicas, cinéticas y fisicoquímicas. En ese sentido el simulador es la herramienta que permite dejar de lado tales inconvenientes y permitir hacer estudios de diseño o de análisis. Precisamente, en este trabajo se realiza un estudio de análisis, para comprender mejor el impacto de la variación de la temperatura de entrada de las corrientes de alimentación. Para ello se hace el diseño de la columna se elige la mejor opción en cuanto a refrigeración (Irahola, 2021) y posteriormente se realiza el estudio de sensibilidad.

Tabla 1. Datos de las corrientes de entrada

Corriente	GAS-CO2	SAL-AMON	
Flujo Másico Kg/h	70000	200874	
Temp °C	60	25	
Presión Bar	2,5	1,01253	
Fracción Másica		Fracción Másica	
CO_2	0,460274	NaCl	0,228948
CO	0,0046823	NH_4OH	0,186464
N_2	0,506162	H_2O	0,584587
O_2	0,0288817		

2. DISEÑO DE LA COLUMNA DE CARBONATACIÓN

2.1 Consideraciones

Recuérdese que la absorción de CO_2 tiene lugar con reacción química y puesto que las reacciones que ocurren son altamente exotérmicas, se requiere un sistema de enfriamiento de la columna. Si bien es cierto, que la absorción de un gas puede llevarse a cabo en una columna de relleno o de platos, en este caso sólo puede considerarse una columna de platos, ya que sería más complicada la colocación del circuito de enfriamiento en una columna de relleno, como también lo sería la extracción de corrientes laterales para su refrigeración. Se adopta una columna de 13 platos con refrigeración en la etapa 11, que produce el mejor rendimiento de $NaHCO_3$. (Irahola, 2021)
La temperatura de salida del producto se adopta según un reporte de Federal Environmental Agency (2001) que cita que la temperatura ideal de la salmuera en la salida de la columna carbonatación se encuentra entre 25 °C y 30 °C. Las temperaturas más bajas pueden causar precipitaciones de sal o bicarbonato de amonio, mientras que las temperaturas más altas dificultan la precipitación completa del bicarbonato formado.-

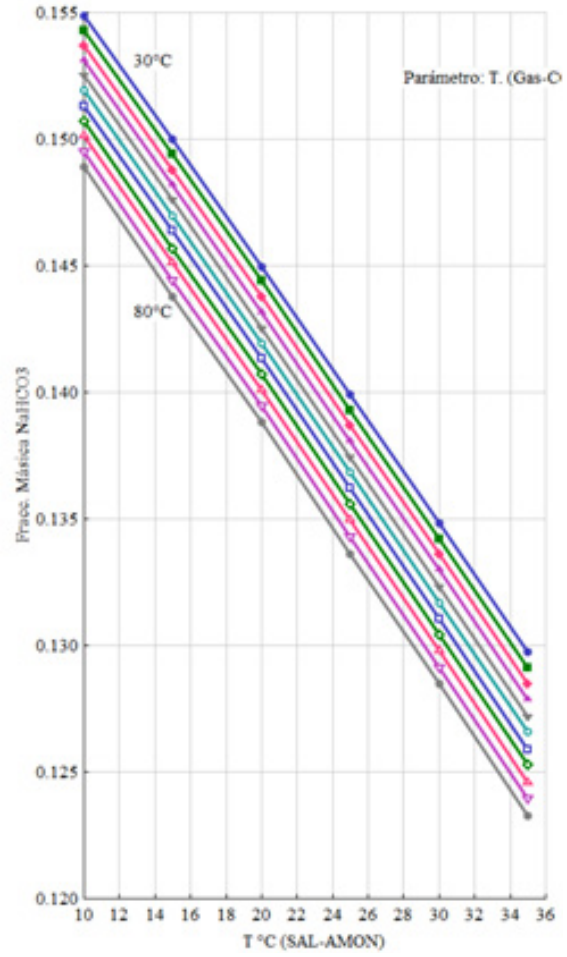


Figura 3. Evolución de la fracción másica de $NaHCO_3$ con la temperatura

2.2 Datos

Para el diseño de las columnas se parte solo de los datos de los caudales y composiciones de las dos corrientes de entrada, por tope y cola.
En la Fig. 1, se muestra el esquema de la columna de carbonatación simulada con refrigeración. En el plato 1 ingresa la corriente de salmuera (SAL-AMON). En el plato 13 ingresa la corriente gaseosa (GAS-CO2). La información de caudal, presión, temperatura y composición se muestra en la Tabla1. La composición de las corrientes se ha obtenido de Cervera (2006).

3. ESTUDIO DE SENSIBILIDAD

3.1 Objetivo

Se desea determinar cuál es el impacto en el rendimiento de $NaHCO_3$ frente a cambios en la temperatura de las corrientes de entrada. Se estudia 3 casos:
a) Se cambia la temperatura de la corriente de alimentación líquida; SAL-AMON en pasos de 5°C desde 10 a 35 °C, manteniendo el resto de los

parámetros constantes.
b) Se cambia la temperatura de la corriente GAS-CO2 en pasos de 5°C desde 30 a 80°C, manteniendo el resto de los parámetros constantes.
c) Variación simultanea de a) y b).

Tabla 2

Nombre de la corriente	**Unidad**	**GAS-CO2**	**SAL-AMON**	**BICARBO**	**PURGA**
Tipo de corriente		CONVEN	CONVEN	CONVEN	CONVEN
Subcorrientes -Mixto					
Fase		Fase Vapor	Fase Líquido		Fase Vapor
Temperatura	C	60	25	27,330	49,973
Presión	bar	2,5	2	1,139	1,000
Fracción másica Vapor.		1	0	0,000	1,000
Fracción másica Líquido		0	1	0,864	0,000
Fracción másica Sólido		0	0	0,136	0,000
Flujo másico	kg/hr	70000	200874,488	209845,980	61028,508
H_2O	kg/hr	0	136668,893	126068,930	3380,064
CO_2	kg/hr	32219,164	0,000	380,638	14169,286
CO	kg/hr	327,763	0,000	24,499	303,264
N_2	kg/hr	35431,354	0,000	2230,703	33200,651
O_2	kg/hr	2021,720	0,000	339,177	1682,542
Na+	kg/hr	0	18088,529	10268,308	0,000
Cl-	kg/hr	0	27900,899	27900,899	0,000
NH_4+	kg/hr	0	15,686	7262,024	0,000
OH-	kg/hr	0	12,228	0,001	0,000
H_3O+	kg/hr	0	0,000	0,000	0,000
NH_3	kg/hr	0	18188,252	3053,909	8292,701
$NaHCO_3$	kg/hr	0	0,000	28576,551	0,000
HCO_3-	kg/hr	0	0,000	3682,603	0,000
CO_3--	kg/hr	0	0,000	57,736	0,000
NH_4Cl	kg/hr	0	0	0	0
NH_4HCO_3	kg/hr	0	0	0	0
Fracción másica					
H_2O		0	0,68036959	0,60076886	0,055385
CO_2		0,46027376	0	0,00181389	0,23217488
CO		0,00468233	0	0,00011675	0,00496922
N_2		0,5061622	0	0,01063019	0,54401872
O_2		0,02888171	0	0,00161632	0,02756978
Na+		0	0,09004891	0,04893259	0
Cl-		0	0,13889718	0,13295894	0
NH_4+		0	$7,8088\ 10^{-5}$	0,03460645	0
OH-		0	$6,0875\ 10^{-5}$	$6,3674\ 10^{-9}$	0
H_3O+		0	0	0	0
NH_3		0	0,09054536	0,0145531	0,13588241
$NaHCO_3$		0	0	0,13617869	0
HCO_3-		0	0	0,01754908	0
CO_3--		0	0	0,00027513	0
Fase sólida					
Flujo másico	kg/hr			28576,5506	
$NaHCO_3$	kg/hr			28576,5506	

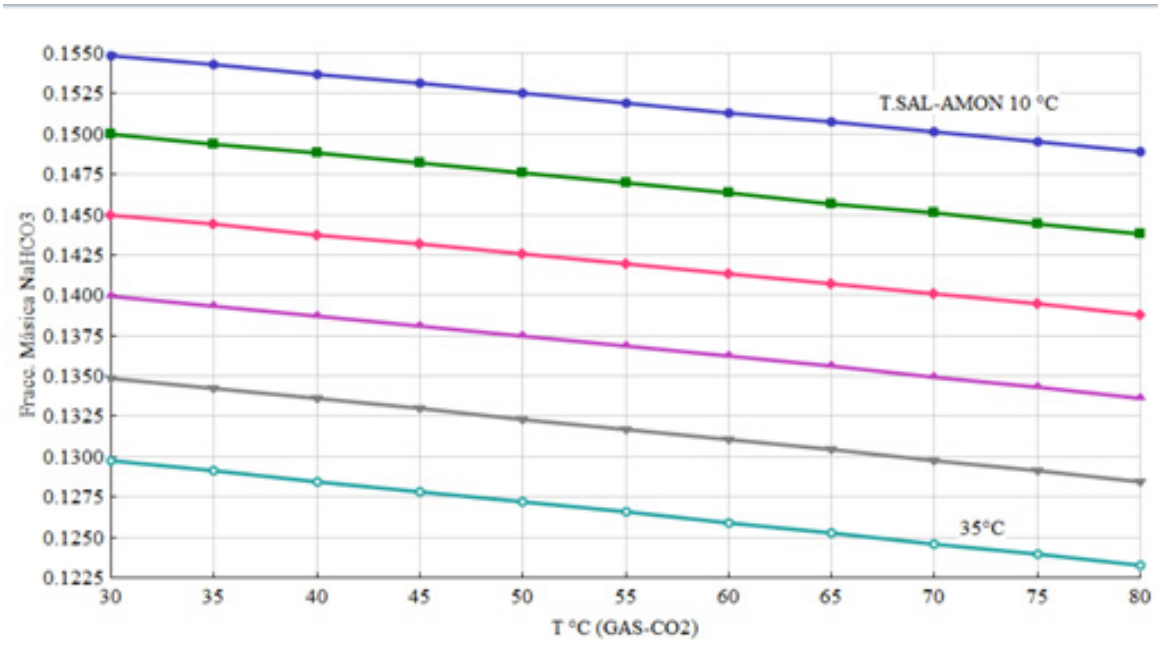


Figura 4. Relación entre la fracción másica de $NaHCO_3$ y el aumento de temperatura de la corriente de alimentación gaseosa

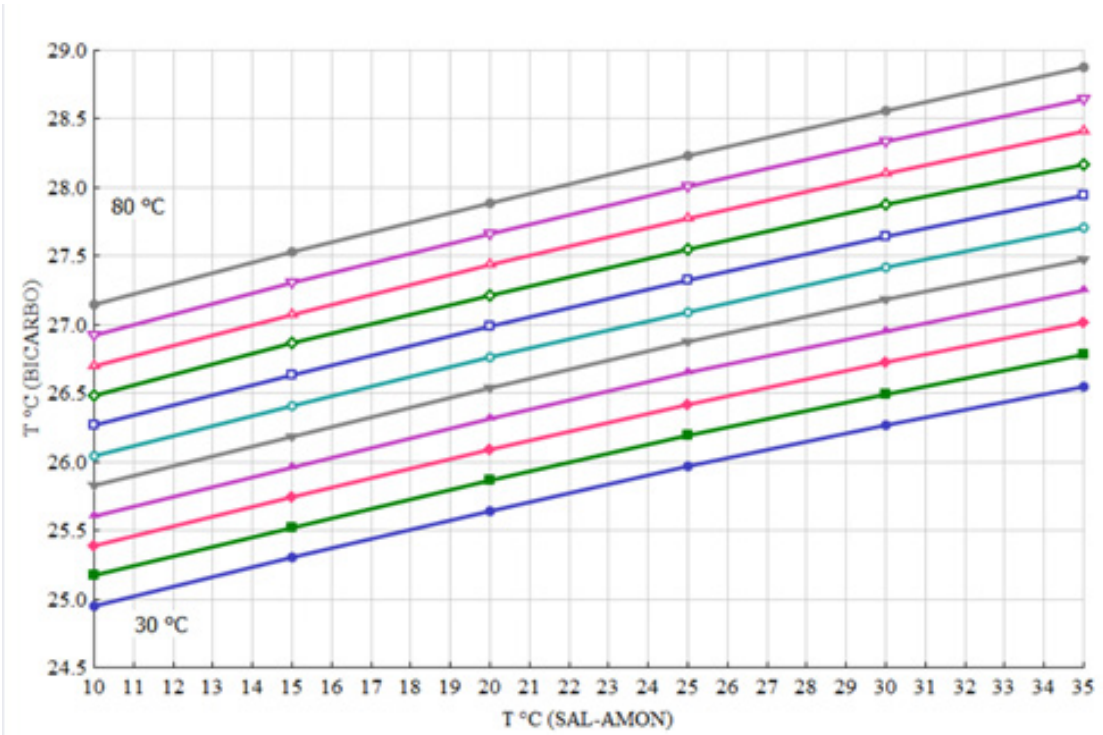


Figura 5. Relación entre la Temperatura de la corriente BICARBO y el aumento de temperatura de la corriente de alimentación líquida.

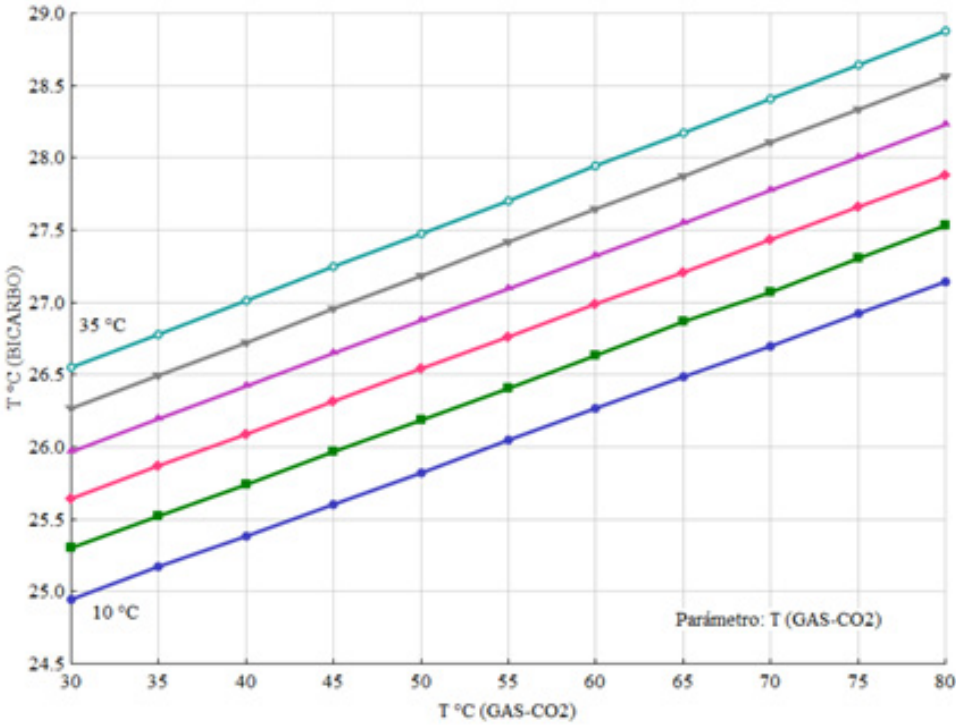


Figura 6. Relación entre la Temperatura de la corriente BICARBO y el aumento de temperatura de la corriente de alimentación gaseosa

4. METODOLOGÍA

Se modela una columna de carbonatación de 13 platos perforados en el simulador Aspen Plus. Se resuelve y se agrega la condición de refrigerar la etapa 11. El modelo químico que se utiliza es el que se muestra en la Fig. 2. Con la columna resuelta se procede a simular en modo análisis, para llevar a cabo el estudio de sensibilidad como se planteó en el objetivo. Primeramente, se toma como parámetro la temperatura de la corriente GAS-CO2 se fija en 30°C y se procede a simular para una temperatura de 10°C de la corriente SAL-AMON. Luego, se procede a la siguiente simulación: se mantiene el valor del parámetro y se incrementa en un valor de 5°C (paso de incremento) el valor de la temperatura de la corriente SAL-AMON, es decir se toma el valor 15°C. Y así sucesivamente, se toma el mismo parámetro, se incrementa según el paso (5°C) la

temperatura de la corriente SAL-AMON y se realiza una nueva simulación hasta cubrir todo el intervalo propuesto de estudio:[10,35]°C. Por tanto, se habrán realizado 6 simulaciones considerando el mismo valor del parámetro. Posteriormente, se incrementa el valor del parámetro en un paso de °5C y se repite el procedimiento citado. El incremento del parámetro se hace en un rango de 30 a 80°C. Al final del proceso descripto, se habrán hecho 66 simulaciones.

De manera similar se procede para satisfacer el caso b) y c) propuesto en el ítem Objetivo.

5. RESULTADOS

El resultado de la simulación de la columna propuesta para el estudio se presenta en la Tabla 2. Cuando se analiza la sensibilidad de la producción de $NaHCO_3$ (Fig.3), se observa que disminuye a medida que aumenta la temperatura de la corriente de alimentación de salmuera de 10 a 35°C. Por otra parte, cabe señalar, que la evolución es, prácticamente, lineal para cualquier parámetro de temperatura (Corriente GAS-CO2) y disminuye cuando este parámetro aumenta.

En la Fig. 4, se observa con mayor precisión que en la Fig. 3, la disminución de la concentración del $NaHCO_3$ con el incremento de la temperatura de la corriente GAS-CO2, desde 30 a 80°C.

Las curvas (Fig.3 y Fig.4) las suponemos rectas y si se compara las pendientes, se comprueba que no son paralelas. Para el mejor caso, es decir el de mayor concentración (T (Gas-CO2)=30°C, Fig. 3) la recta presenta menor pendiente que el resto de las curvas. Una situación similar se presenta en la Fig. 4. En la condición más favorable, es decir la recta antes citada, se observa que por cada °C que se incrementa la temperatura de la corriente de alimentación líquida SAL-AMON, disminuye 1,0061 10^{-3} la fracción másica de $NaHCO_3$, lo que equivale a un caudal 259,092 [Kg/h]/°C.

Cuando se analiza la variación de la temperatura de la corriente de alimentación gaseosa: GAS-CO2 (Fig.4) en el mejor caso (T(SAL-AMON)=10°C) se observa que la fracción másica de $NaHCO_3$, disminuye 1,2003

10^{-4}/°C, o dicho de otra manera, el caudal $NaHCO_3$ disminuye 29,342 [Kg/h]/°C. Por tanto, la producción de la columna se ve más afectada por cambios en la temperatura de la corriente de alimentación líquida que en la gaseosa. Y si se cuantifica, la producción de $NaHCO_3$ se ve 8 veces más afectada por grado centígrado de variación en la corriente SAL-AMON que en la corriente Gas-CO2.

En las Figs. 5 y 6 se observa el impacto en la temperatura de la corriente de producto: BICARBO, debido a la variación en la temperatura de las corrientes de alimentación líquida y gaseosa. El aumento de temperatura en estas corrientes provoca, en ambos casos, un aumento de temperatura en la corriente de producto. Si se considera la curva inferior de la Fig. 5, por cada °C que aumenta T(SAL-AMON), la temperatura de la corriente BICARBO se incrementa en menor proporción, solo 0,064°C. Similar estudio en base a la Fig. 6, muestra una relación de 0,044°C T(Gas-CO2)/°C T(BICARBO). Por consiguiente, la variación de temperatura de la corriente de alimentación líquida impacta 45,6% más que la variación de la temperatura de la corriente GAS-CO2, sobre la temperatura de la corriente de producto: BICARBO.

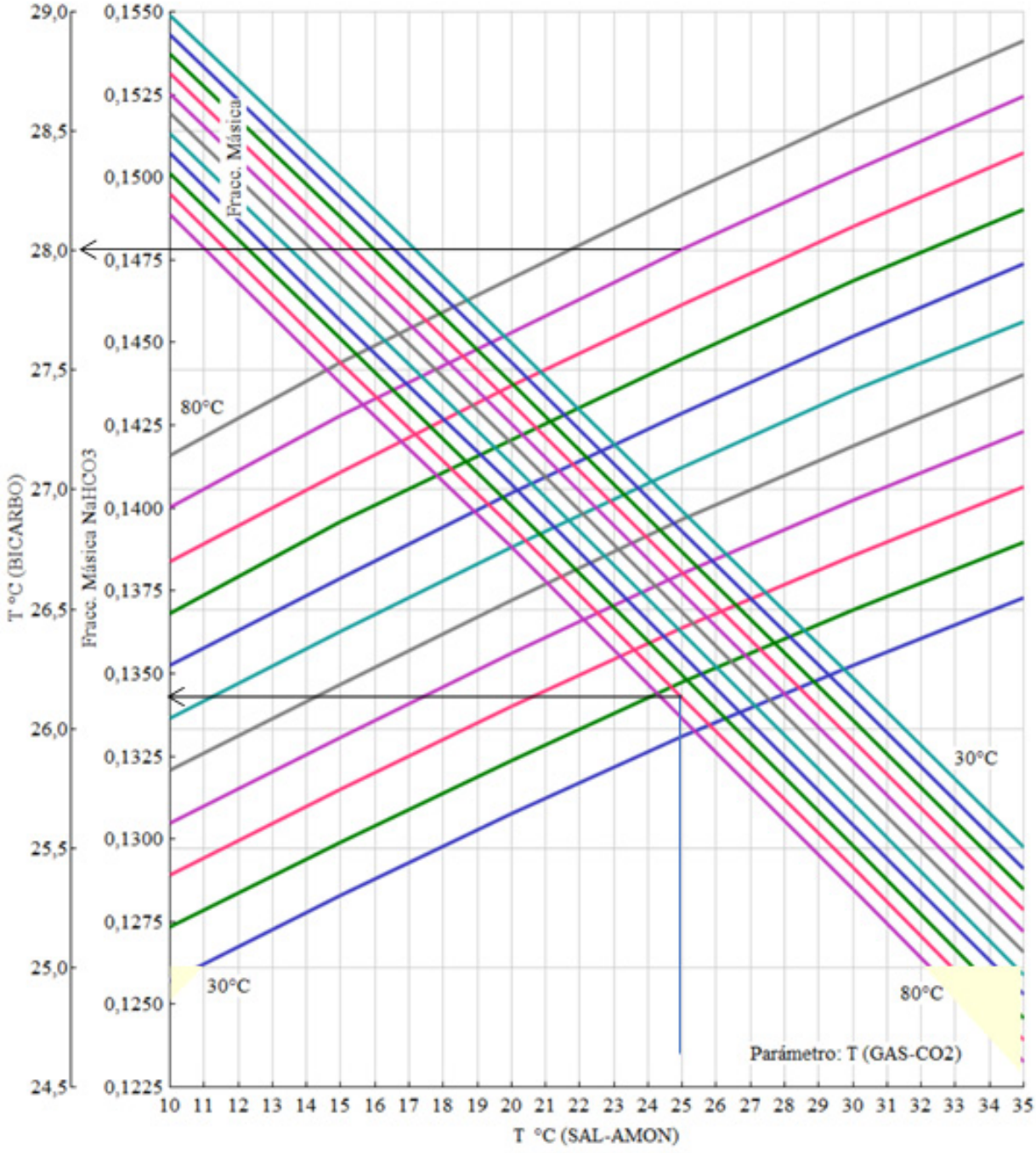


Figura 7. Estudio simultáneo de sensibilidad de la Temperatura y la Concentración de la corriente BICARBO

Un estudio simultáneo de las variaciones de temperatura de las corrientes de alimentación antes citadas, permite condensar en un gráfico los resultados que se han encontrado (Fig.7). En él se puede observar la evolución de la temperatura y la concentración másica de $NaHCO_3$ de la corriente BICARBO, para cualquier condición que se desee. Mas aún, el grafico constituye un nomograma para el problema estudiado. Así, de él se puede obtener los resultados para cualquier combinación de las variables estudiadas sin necesidad de hacer la simulación para aquellas condiciones. Por ejemplo, si se deseara conocer cuál sería la temperatura y concentración de $NaHCO_3$ cuando T(SAL-AMON)=25°C y T (Gas-CO2)=75°C, se ingresa por el eje de abscisas (T=25°C) se usan las curvas de fracción másica, se busca la que corresponde a 75°C y en eje de ordenadas se lee el valor ~0,134, y usando las curvas de Temperatura se obtiene T(BICARBO)~28°C. Para satisfacer las condiciones de operación se ha eliminado del gráfico la parte de la curvas por debajo de 25°C.

6. CONCLUSIONES

Como resultado del análisis de sensibilidad del rendimiento de $NaHCO_3$ en la columna, se ha encontrado que: i) la concentración disminuye a medida que se incrementa la temperatura de las corrientes de alimentación ii) la influencia es 8 veces mayor por variación de la temperatura de la corriente SAL-AMON (líquida) que por variación de la corriente de gas GAS-CO2. iii) la temperatura T(BICARBO) aumenta cuando aumenta la temperatura de las corrientes de alimentación iv) el impacto sobre ella es 45,6% mayor por grado centígrado de variación de la temperatura de la corriente de alimentación líquida que la variación de la temperatura de la corriente GAS-CO2. v). El estudio de sensibilidad, permitió realizar un nomograma, que permite determinar del gráfico, cuáles son las condiciones de la corriente de salida, por ejemplo: temperatura, concentración. Mas aún, podría fácilmente, construirse otro que mostrara todas las demás variables de la columna, como ser caudal y concentraciones de todas las especies presentes en ambas corrientes de salida.

7. REFERENCIAS

Cervera Gracia, L, L. Izquierdo, J. P. Labrozzi, M. Moreno, E. O. Ordóñez, R. Vidal. *Planta de producción de carbonato sódico*. Tesina de Ingeniería Química. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. 2006

Cormos, A. M, C. C. Cormos, P. Agachi. Making soda ash manufacture more sustainable. A modeling study using ASPEN Plus. *17th European Symposium on Computer Aided Process Engineering – ESCAPE17*. 2007

Diaz Tapia, J. D. *Procedimiento de extracción de litio para la obtención de carbonato de litio, desde una salmuera o mineral y/o arcilla previamente tratado para estar libre de boro*. Patente: WO 2013049952 A1. 2013.

Federal Environmental Agency, *Final Report,* 2001.

Irahola Ferreira, Jaime A. Modelado y simulación de una columna de carbonatación. *Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA*. 7, 2021.

Irahola Ferreira, Jaime A. Selección de la etapa óptima a refrigerar en una columna de carbonatación. *Encuentro Argentino y Latinoamericano de Ingeniería*. *CLADI/CADI.* Facultad de Ingeniería de la UBA, Buenos Aires, 2021

Wagialla K. M., I.S. Al Mutaz and M. E. Dahshan. The manufacture of soda ash in the Arabian Gulf. *International Journal of production Economics,* 27. 145-153.1992

Snack con Agregado de Calcio: Evaluación Nutricional y Aceptabilidad

Bassett, Natalia[1, 2]; Rossi, Constanza[1, 2]; Rossi, Analia[2] y Sammán, Norma.[1, 2]

(1) Centro Interdisciplinario de Investigaciones en Tecnologías y Desarrollo Social para el NOA (CIITED) – CONICET. Universidad Nacional de Jujuy.
natybassett@gmail.com, cotyrossi@gmail.com, normasamman@gmail.com

(2) Instituto Superior de Investigaciones Biológicas (INSIBIO)- CONICET. Universidad Nacional de Tucumán.
analia.rossi@fbqf.unt.edu.ar

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue elaborar un snack fortificado en calcio y reducido en sodio mediante extrusión, mejorar su contenido nutricional y evaluar su aceptabilidad por parte de niños. Se formularon y elaboraron snacks de harina de maíz fortificados con sales de calcio para cubrir 20% del valor diario recomendado (VDR). Los snacks control (SC) y con agregado de calcio (SCa), ambos con sodio reducido respecto a versiones comerciales, se sometieron a una prueba de aceptabilidad con escala categorizada. El 53,8% y 60% de los niños encontró aceptable al SC y SCa, respectivamente. Se encontró diferencias significativas en la dureza y olor entre los snacks. En general caracterizaron a ambas muestras de snacks de color claro, no aceitosos, con olor agradable y característico. A pesar de que no destacaron ninguna característica de sabor, un 35,7% de niños encontró más salado el snack control y el 40,7% percibieron un sabor más amargo en el snack fortificado sin modificar sus preferencias. Se logró elaborar un snack fortificado con calcio a expensas de la reducción del sodio que tuvo buena aceptabilidad por los escolares lo cual lo hace adecuado para incorporarlo en el menú escolar.

ABSTRACT

The objective of the present work was to elaborate a snack fortified in calcium and reduced in sodium by extrusion, improve its nutritional content and evaluate its acceptability by children. Snacks of maize flour fortified with calcium salts were formulate and made to cover 20% of the Daily Nutrient Reference Values (VDR). Control (SC) and calcium (SCa) snacks, both with reduced sodium compared to commercial versions, were submitted to an acceptability test with categorized scale. The 53.8% and 60% of the children found the SC and SCa acceptable, respectively. They were characterize as clear insider and outer colour snacks, not greasy with pleasant odour, and did not emphasize any flavour characteristics. The 35.7% of children who consumed SC found it to be more salty while 40.7% of those who consumed SCa snacks perceived a more bitter taste, but did not modify their preferences. It was technologically possible to elaborate a snack fortified with calcium at the expense of reducing sodium, which had good acceptability by schoolchildren, which makes it suitable to be incorporate into the school menu.

Palabras claves: snacks – calcio – aceptabilidad - escolar

Keywords: snacks – calcium – acceptability - schoolchildren

1. INTRODUCCION

Con el propósito de aportar al desarrollo de políticas alimentarias adecuadas en el Noroeste Argentino (NOA) se han llevado a cabo estudios para evaluar la situación nutricional de la población escolar de altura de la Región. Estos permitieron, determinar patrón de consumo de alimentos, identificar alimentos de uso frecuente, cantidades que ingiere y nutrientes críticos para la población en estudio. En estudios previos realizados por Bassett (2014) se determinó la situación ponderal de la población escolar encontrándose alto porcentaje de niños con desnutrición aguda (6,1%) y bajo peso (11%) coexistiendo con un elevado porcentaje de niños con sobrepeso (13,4%) y obesidad (8,5%). Estos resultados concordaron con el análisis realizado de la dieta de los escolares reportados por la ENNyS2 (2019), la cual incluyó un consumo elevado de productos ricos en azúcares simples como dulces, postres, bebidas azucaradas tipo cola y golosinas y de productos aportadores de sodio como alimentos procesados, embutidos, caldos y sopas comerciales superando la ingesta recomendada por la WHO (2016). También se analizaron los menús escolares, resultando los mismos adecuados respecto al aporte de energía, proteínas y hierro mientras que mostraron ser deficitarios para calcio (30,1%) y vitamina A (50,4%) (Rossi (2018)). En estos estudios previos, los niños percibían como alimentos saludables los lácteos, frutas y verduras sin embargo no estaban incluidas en cantidad suficiente en su alimentación. En la evaluación de la dieta de escolares realizada por Bassett (2013) se demostró que existe deficiencia de calcio (Figura 1).

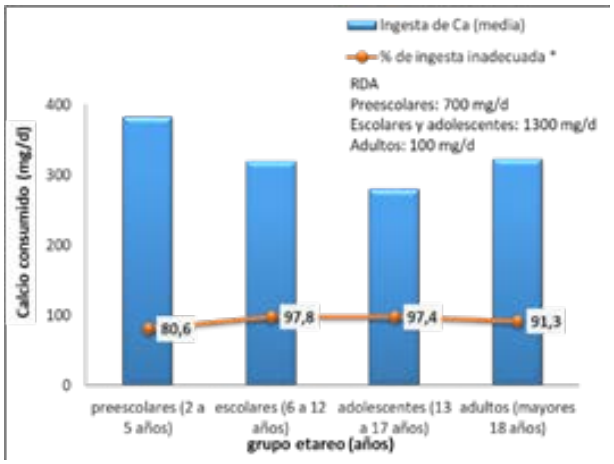


Figura 1: Ingesta de calcio y porcentaje de población con ingesta inadecuada en zona de altura de Tucumán. RDA: valores diarios de referencia según la IOM, 2011.Fuente Bassett (2013).

Existen diversos alimentos que pueden aportar calcio cuando son incluidos en cantidades suficientes y consumidas con frecuencia, los mismos pueden ser de origen animal o también están en los alimentos basados en plantas para aquellas personas que no los consumen.

Los lácteos son conocidos como la principal fuente de calcio en la dieta, incluyendo leche y sus derivados. Además, las fuentes de calcio a base de plantas incluyen jugos y leches vegetales fortificados con calcio, verduras bajas en oxalato, tofu con calcio y algunas leguminosas y semillas de acuerdo a Turney-McGrievy (2017). Los lácteos (leches, yogures y quesos) son la fuente principal de calcio en la dieta. A pesar de ubicarse entre los países con una importante industria láctea, la disponibilidad alimentaria de calcio en Argentina es insuficiente para cubrir las necesidades de la población como lo reporta Uauy (2012).

En Argentina el consumo aparente de alimentos y bebidas se ha modificado en las dos últimas décadas, el desplazamiento de los patrones de alimentación está basado en la sustitución de comidas y platos preparados a partir de alimentos sin procesar o mínimamente procesados por otros productos cada vez más ultraprocesados como lo reportan la OMS/OPS (2015) y Zapata (2016). Este cambio en los patrones se observa en la población de los escolares mostrando que los niños eligen principalmente como colaciones y/o meriendas para consumir en el recreo de la escuela snacks no nutritivos de baja calidad proteica, ricos en grasas saturadas, azúcares y sodio, incluyendo papas fritas, facturas, golosinas y sándwich de fiambres entre otros a los cuales acompañan con jugos y/o gaseosas. El bajo consumo de alimentos ricos en nutrientes prioritarios observado por Rossi (2018) en los escolares confirma que lejos de una mejora en el estado nutricional existe un deterioro en la calidad del consumo de alimentos que se traduce en sobrepeso/obesidad con la convivencia de la deficiencia de micronutrientes. Según el Código Alimentario Argentino; CAA, (2019) con la denominación de productos para copetín (snacks) o para aperitivos se entiende a los elaborados a base de papas, cereales, harinas o almidones (derivados de cereales, raíces y tubérculos, legumbres y leguminosas), con o sin la adición de sal, especias, frutas secas, saborizados o no, con o sin el agregado de otros ingredientes permitidos, horneados o fritos. Mientras que en el ámbito comercial se denomina snack a alimentos que se consumen entre horas y para referirse principalmente a los alimentos que los niños eligen como colación, golosinas y otros productos industrializados con alto contenido de azúcares, grasas y sodio, dentro de los cuales se encuentran los caramelos, chocolates, alfajores, papas fritas, chizitos y palitos, entre otros (Cristóbal (2008)).

En Argentina existe una gran cantidad de empresas que los fabrican y también un elevado consumo de estos productos que generan placer momentáneo,

sin tener en cuenta los efectos negativos que podrían tener sobre la salud. Recientemente, se ha observado una expansión del conocimiento científico sobre la importancia de la dieta en la salud, los avances técnicos en la industria de alimentos y la demanda de los consumidores de productos que promuevan la salud (Bakshi (2020)). La industria de alimentos ha acompañado estos cambios, desarrollando nuevos productos más saludables basados en dos tendencias principales: la reducción de los contenidos de grasa trans y saturadas y/o sal y el desarrollo de los denominados "alimentos funcionales" (Bruzzone, (2014); Ryland (2010); Silva (2013)). Por lo tanto, en la actualidad la tendencia de producir "snacks" de mejor calidad nutricional, se ha visto aumentado. Este hábito de consumo puede ser aprovechado para convertirlos en un vehículo adecuado para suministrar nutrientes. La fortificación y/o complementación de alimentos son procedimientos eficientes que se aplican para prevenir la deficiencia nutricional de micronutrientes como por ejemplo el hierro, zinc, iodo, algunas vitaminas (Allen (2017); Serra Majem (2006)).
Por todo lo mencionado anteriormente el objetivo del presente trabajo fue elaborar un producto extruido tipo snack con harina de maíz, fortificado en calcio a expensas de la reducción en sodio y evaluar el impacto del agregado de calcio en la aceptabilidad por parte de los escolares.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 *Elaboración del extruido: "snack"*

La harina de maíz se compró en un mercado local en San Miguel de Tucumán, Argentina.
La composición fue siguiente: valor energético 348 Kcal/100 g; humedad 15,23 g/100 g; proteína 6,06 g/100 g; ceniza 0,499 g/100 g; lípidos 2,53 g/100 g; carbohidratos 75,22 g/100 g; fibra 0,46 g/100 g. La mezcla de sustitutos de sal se elaboró con NaCl y CaCO3 de (Cicarelli®).
Se elaboraron extruidos de harina de maíz, snack tipo chizito, con bajo nivel de sodio y fortificados con sales de calcio para cubrir 20% de la VDR. Para su elaboración se empleó un extrusor de doble tornillo (Metalúrgica Convenção de Itu Ltda. Brasil) perteneciente a la fábrica Zingaras®. Las condiciones del proceso de extrusión-cocción para los snacks finales fueron: Temperatura superior a 150°C; relación harina/agua: 100/15 Velocidad de carga 86 rpm. Se determinó el grado de expansión del extruido, el cual se expresa como la relación entre el diámetro promedio del extruido y el diámetro del dado o troquel. Se midieron diez piezas de cada muestra de snack usando calibre Vernier (Brennan (2008)).

2.2 *Composición nutricional del "snack"*

En los snacks con y sin agregados de calcio se determinó proteínas, grasas, cenizas y humedad utilizando métodos AOAC (2016). La humedad se determinó en un horno usando AOAC 925.09.
El contenido de proteína total se determinó utilizando el método de Kjeldahl (Unidad de digestión Buchi K-435) con un factor de conversión de nitrógeno a proteína de 6.25 (AOAC 984.13).
El contenido de lípidos se determinó según el método de hidrólisis ácida AOAC 922.06. Análisis de cenizas de muestras carbonizadas a 550º C (Mufla F.B.R., modelo 350) (AOAC 923.03).
El contenido de calcio y sodio se determinó utilizando un espectrómetro de absorción atómica Perkin Elmer PinAAcle 900T. Calibración de las medidas utilizando estándares certificados para Calcio LOD = 0,2 mg/L, LOQ = 0,6 mg/L (Estándar Carlo Erba/ Normex /1 mg/mL) y Sodio LOD = 0,05 mg/L, LOQ = 0, Se realizó 15 mg/L (Estándar Carlo Erba/ Normex / 1mg/mL).

2.3 *Evaluadores: panel no entrenado*

La población fueron niños en etapa escolar de 8 a 12 años de escuelas primarias de simple y doble jornada y albergues, pertenecientes a la región de altura de Amaicha del Valle, Tucumán; se seleccionaron aquellos que presentaron una evaluación del estado nutricional previa, realizada por el equipo de trabajo. Del total de los escolares, se seleccionaron al azar 60 niños sanos como evaluadores no entrenados.
Todos los escolares participantes presentaron el consentimiento informado firmado por sus padres y/o tutores y dieron su aprobación para responder la encuesta y realizar el estudio. El comité de bioética del CONICET Tucumán aprobó adecuadamente los protocolos de trabajo

2.4 *Prueba de aceptabilidad y análisis sensorial*

Los snacks control (SC) y con agregado de calcio (SCa), ambos con sodio reducido respecto a las versiones comerciales, fueron sometidos a una prueba de aceptabilidad con escala categorizada desde "me gusta mucho" hasta "me disgusta mucho.
Se llevó a cabo un estudio simple ciego, con muestras SC y SCa, que parecían idénticas en envases herméticos de 30 g cada una, codificadas individualmente con alumnos seleccionados de la escuela en estudio.
La prueba se realizó en un mismo espacio, separados del resto de la población escolar. Cada panelista recibió los dos tipos de muestras con las encuestas para realizar simultáneamente, aceptabilidad y el análisis sensorial. Luego se les solicitó que abran el envase recibido y que consuman al menos la mitad del

contenido y completen la encuesta para cada muestra de snack. Se proporcionó agua entre evaluaciones para limpiar el paladar.

Para determinar las características sensoriales se llevó a cabo un cuestionario descriptivo usando una escala no estructurada 1-7, donde uno representa la intensidad más baja y siete la intensidad más alta.

Los cuestionarios para la caracterización sensorial de los snacks fueron diseñados por el grupo de trabajo, donde se seleccionó cada atributo teniendo en cuenta trabajos de investigación disponible de productos similares y a la degustación informal de los investigadores. Los autores acordaron por unanimidad 14 atributos para constituir el perfil descriptivo de los snacks. Se adaptó una lista del vocabulario sensorial al vocabulario de los niños para describir la intensidad de todos los atributos y constituir el perfil descriptivo de los snacks evaluados (Tabla 1).

Tabla 1: Vocabulario para prueba cuantitativa-descriptiva de los snacks. Adaptado de Shaviklo (2015) y Galarza-Martel (2013). Puntuación 1= bajo, 7 = alto

Atributo sensorial	Escala (1-7)	Definición
Apariencia		
Color (externo)	Claro/ oscuro	Color amarillo en la superficie del snack
Color (interno)	Claro/ oscuro	Color amarillo oscuro o claro en el interior del snack
Textura: Sensación en la boca		
Crujiente	Poco/ mucho	Crocantes del snack después de morder
Blando	Poco/ mucho	Suavidad del snack al masticar
Dureza	Poco/ mucho	Fuerza aplicada por los molares para comprimir el snack
Aceitoso	Poco/ mucho	Facilidad con la cual la lengua, la muestra y el paladar se deslizan uno con respecto al otro debido al aceite o grasa presente en el snack
Sabor		
Dulce	Poco/ mucho	Tener o denotar el sabor característico del azúcar.
Salado	Poco/ mucho	Percepción de salinidad que denota el sabor característico de la sal de cloruro de sodio.
Ácido	Poco/ mucho	Sabor agudo como el vinagre o los limones.
Astringente	Poco/ mucho	Factor de sensación que causa una sensación de sequedad, aspereza y fruncimiento en la boca, como el que produce las bananas verdes o membrillo.
Amargo	Poco/ mucho	Sabor similar a aspirinas o los medicamentos y a ciertos alimentos (p. Ej., Cacao en polvo sin endulzar, vegetales de color verde oscuro como la núcula o apio (ligeramente amargo) entre otros).
Otro sabor	Poco/ mucho	Otro sabor percibido
Olor		
Olor Fresco	Poco/ mucho	Olor fresco y característico del snack
Otro olor	Poco/ mucho	Otros olores percibidos

2.5 *Análisis estadístico*

El tratamiento estadístico se realizó con IBM SPSS Advanced Statistics 20.0. Se determinaron valores medios, desviación estándar (DS) y porcentajes (%) para cada uno de los parámetros estudiados. Para evaluar las diferencias observadas entre dos proporciones se empleó el test de Chi2. Se eligió $p<0,05$ para denotar significación estadística.

3 RESULTADOS

La composición química de los snacks control y fortificados con calcio se muestra en la Tabla 2. Ambos snacks tienen menor contenido de sodio que los valores máximos establecidos por la Ley 26.905, y que otros snacks similares comerciales destinados a los niños.

Tabla 2. Composición proximal (g/100g) de snacks elaborados. Media ± DS; n=3 &: Calculados por diferencia (100-Humedad-Proteín-Lípidos-Cenizas); *Diferencias estadísticas entre muestras ($p <0.05$). Datos etiqueta nutricional de snack comercial: Humedad 3,98; Valor energético: 2326/556 (KJ/ Kcal); Proteínas: 6; Lípidos 36; Hidratos de Carbono: 52; Sodio; 932; SC: Snack control SCa: Snack con calcio.

	(SC)	(SCa)
Humedad	4.05± 0.63	4.33 ± 0.21

Valor energético (KJ/Kcal)	1895/453	1839/439
Proteína	7.60 ± 0.33	7.61 ± 0.25
Lípidos	14.34 ± 0.83	14.10 ± 0.63
Carbohidratos&	73.34	70,56
Sodio	763.73 ± 4.20 *	357.53 ± 2.23 *
Calcio	54.40 ± 3.35 *	863.3 ± 3.22 *
Cenizas	0.67 ± 0.05 *	3.40 ± 0.08 *

Las características físicas de los productos extruidos, como expansión, dureza, entre otros, son parámetros importantes en términos de la aceptabilidad del producto final.

El grado de expansión determinado en los snack elaborados fue mayor para el SC (4.2%) que para el SCa (3.3%).

En la Tabla 3 se puede observar que el aporte de calcio del SC es muy bajo mientras que el snack con agregado de calcio cubriría alrededor del 20% de la IDR de un niño.

Con respecto al contenido de sodio, ambos snacks cumplen con la Ley 26905, la cual establece valores limites 950 mg Na/100g producto.

Tabla 3. Contenido, aporte de calcio del snack y porcentaje de cobertura de IDR para escolares. Valores promedio ± desviación estándar; análisis por triplicado utilizando diferentes lotes de snacks; SC: snack común; SCA: snack con calcio. # Diferencias significativas ($p < 0,05$). * Tamaño de una porción: 30g ** Valores de referencia: IDR (Ross et al. 2011) ° ley 26905 honorable congreso de la nación argentina alimentos consumo de sodio - valores máximos publicada en el boletín oficial del 16-dic-2013 número: 32786 página: 1.

	SC	SCa
Contenido Ca (mg/100g)#	54.40 ± 3.35	863.3 ± 3.22
Aporte Ca (mg/porción)*	16	259
IDR escolar**	1300	1300
Cobertura (%)	1.2	20
Contenido Na (mg/100g)#°	763.73 ± 4.20	357.53 ± 2.23
Aporte Na (mg/porción)*	229.0	107.3

La muestra de escolares que evaluó el producto elaborado estuvo conformada por 46,3% niñas y 53,7% niños con una edad promedio de 9,8 +/- 1,9 años

En la Tabla 4 se muestran los resultados de la prueba de aceptabilidad, al 52,6% de los niños les agrado mucho los SC y al 60%, SCa.

Tabla 4. Respuestas de los escolares en estudio según escala hedónica de aceptabilidad para snacks evaluados.SC: Snack control SCa: Snack con calcio.

Escala hedónica de 5 puntos de aceptabilidad general	AMAICHA DEL VALLE			
	SC		SCa	
	n	%	n	%
Me gusta mucho (1)	32	52.6	36	60.0
Me gusto (2)	28	47.4	24	40.0
Indiferente (3)	0	0.0	0	0.0
No gustó (4)	0	0.0	0	0.0
Me disgustó mucho (5)	0	0.0	0	0.0
Total	60	100	60	100

La Tabla 5 muestra las puntuaciones medias de los análisis sensoriales cuantitativos-descriptivos de las muestras de snacks. Se encontró diferencias significativas en las características organolépticas otorgada por los niños de dureza y olor a fresco entre los snacks. En general, los escolares caracterizaron ambos snacks de color interno y externo claro, no aceitosos con olor agradable y no destacaron ninguna característica de sabor. Se puede observar que a pesar de no mostrar diferencias significativas en atributos de sabor un mayor el porcentaje de niños encontró al snack con calcio amargo y astringente respecto al SC.

Tabla 5. Puntuaciones medias de los análisis sensoriales cuantitativos-descriptivos de muestras de aperitivos en escolares de Amaicha. SC: Snack control SCa: Snack con calcio

Atributos sensoriales	SC	SCa	Valor p
Color interno	2,1	1,9	0,643
Color externo	2,6	2,0	0,087
Aceitoso	2,4	2,6	0,726
Crocantes	3,4	3,8	0,625
Dureza *	5,0	2,9	0,001
Olor fresco *	1,4	2,7	0,035
Otro olor	2,8	2,5	0,702
Dulzura	2,1	2,1	0,996
Salado	2,7	2,1	0,402
Ácido	2,6	2,1	0,461
Astringente	2,6	2,9	0,698
Amargo	2,8	2,9	0,834
Otro sabor	3,4	2,9	0,414

4 DISCUSION

En este estudio se eligió el producto extruido tipo “snack” o “chizito” porque es un producto fácil de usar, tiene una vida útil más larga y, principalmente, es parte de la dieta y consumido por la mayoría de los niños. Este snack formulado mostró un contenido de sodio más bajo que otros similares. También se

logró que, a pesar de la disminución de sal en la formulación, tuviera buena aceptabilidad por parte de los niños.

Es necesario controlar el contenido de humedad en los snacks para optimizar la calidad del producto resultante. Si bien la insuficiencia de agua puede llevar a una gelatinización incompleta del almidón durante el proceso de horneado, reduciendo la expansión, el exceso de agua también puede causar una expansión reducida, dando como resultado un snack más delgado y menos crujiente o una masa muy suave, que es difícil de cortar como lo reporta Nurul (2010). Los snacks extruidos de maíz con buen nivel de expansión obtenidos en el presente estudio podrían deberse a que al tener una menor humedad aumenta el rozamiento interno de la mezcla durante la extrusión y se obtiene una mayor intensidad de transformación del almidón.

El bajo contenido de humedad también posibilita que las condiciones de almacenamiento y transporte del snack no requieran refrigeración, pudiendo distribuirse en zonas de difícil acceso geográfico (como es el caso de las escuelas muestreadas).

Además, se elaboraron estos productos porque una de las características principales del proceso de extrusión es su capacidad para conferir al producto una determinada textura (crocantes), lo que los hace más atractivo para el consumo, tienen un mayor tiempo de vida útil y son productos que la mayoría de niños consumen. (Natabirwa, 2020).

En el presente trabajo se logró buena aceptabilidad de los escolares a los snacks fortificados de manera similar a las descriptas en otros estudios realizados sobre extruidos de maíz mejorados nutricionalmente (Marroquin Santamarina (2012); Martel and Arellano (2013)). Esto es de vital importancia si se tiene en cuenta que otras fuentes de calcio, como los productos lácteos, tienen costos altos. Además, se debe tener en cuenta que la escuela donde se realizaron las pruebas es pública y ofrece a sus alumnos un programa de alimentación complementaria.

Aunque, la adición de sal de calcio disminuyó la dureza percibida por los niños y redujo la expansión determinada en los snacks, los valores encontrados fueron más altos que los reportados por Galarza-Martel (2013); Hegazy (2017) y similares a los encontrados por Espinoza Córdova (2017); Korkerd (2016); Meza Flores (2013) y Pérez (2008). El buen nivel de expansión obtenidos en el presente estudio podría ser porque tiene una humedad más baja que la fricción interna de la mezcla durante los aumentos de extrusión y mayor intensidad transformación se obtiene de almidón, haciendo que el nivel de expansión de los productos extruidos más altas.

Los puntajes medios de aceptabilidad en este estudio indicaron un buen grado de preferencia de los panelistas por el snack fortificado con calcio. Además, la adición de sales de calcio promovió el color claro interno y externo en el snack fortificado con respecto al control, percibido por los niños.

Un alto número de niños percibieron sabores ácidos, amargos, y/o astringentes en los SCa aunque sin modificar la preferencia de los mismos, esto pudo deberse a la reducción del sodio y por la inclusión de sal de calcio que alteraron las características sensoriales de los snacks formulados. La respuesta hedónica de los consumidores se obtiene por lo general aplicando técnicas cuantitativas, cuyo objetivo principal es evaluar la reacción afectiva de los consumidores solicitando que indiquen cuánto les gusta el producto en una escala hedónica de aceptabilidad como lo informado por Popper (2004). Aunque según van Kleef (2006) los consumidores son capaces de definir claramente qué productos les gustan y cuáles no, no siempre son capaces de describir específicamente qué es lo que les gusta y lo que no les gusta del producto. Por esta razón, en paralelo con la evaluación de la aceptabilidad en general se llevan a cabo metodologías que permiten evaluar las características sensoriales de los productos. El desarrollo de perfiles sensoriales de alimentos permite una descripción completa de ellos y las técnicas tradicionales de caracterización de alimentos, como el análisis cuantitativo descriptivo utilizado en este estudio brindan información precisa y confiable.

Además, se logró que ambos snacks tengan un contenido de sodio menor respecto de los valores máximos establecidos por la Ley 26.905.

5 CONCLUSION

Fue posible tecnológicamente elaborar un snack fortificado con calcio a expensas de la reducción del sodio con buena aceptabilidad por parte de los escolares. Éste es un producto de bajo costo, de fácil manipulación. Una porción de 30 g aporta 20 % de la IDR de calcio, por lo que es adecuado para ser introducido en el menú escolar.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la UNT, a CONICET y al Área Operativa Oeste dependiente del SIPROSA del Ministerio de Salud por su apoyo. Agradecen especialmente a M.E. Acuña y S. Burke que colaboraron con las encuestas. Damos gracias especiales al Sr. Sebastián Cortes y a todo el personal de Zíngaras® que colaboraron con la elaboración de los Snacks.

6 REFERENCIAS

Allen, L.H., B. De Benoist, O. Dary, R., Hurrell Guías

para la fortificación de alimentos con micronutrientes. Food and Agriculture Organization. 2017

Bakshi, A., Chhabra, S., & Kaur, R. (2020). Consumers' Attitudes toward Functional Foods: A Review. Current Topics in Nutraceutical Research, 18(4), 343-348.

Bassett, M.N., M.A. Gimenez, D.Romaguera, and N. Sammán. Estado nutricional e ingesta alimentaria de poblaciones de regiones de altura del Noroeste Argentino. *Arch Latinoam Nutr*, 63(2), 114. 2013

Bassett, M.N., D. Romaguera, M.A. Giménez, M. Lobo and N. Sammán. Prevalencia y determinantes de la doble carga de malnutrición en hogares en La Puna y Quebrada de Humahuaca, Jujuy, Argentina. *Nutrición hospitalaria*, 29(2), 322-330. 2014

Bruzzone, F. Aplicación de metodologías de caracterización sensorial con consumidores en el desarrollo de postres lácteos funcionales, *Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos* Facultad de Ingeniería. Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.2014

Brennan, M.A., J.A. Monro and C.S. Brennan. Effect of inclusion of soluble and insoluble fibres into extruded breakfast cereal products made with reverse screw configuration. International *Journal of Food Science & Technology*, 43, 2278-2288. 2008

CAA. Código Alimentario Argentino. CAPÍTULO IX ALIMENTOS FARINÁCEOS – CEREALES, HARINAS Y DERIVADOS. Artículo 760 tris. (Resolución Conjunta Nº24/2019).https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/capitulo_ix_harinas_actualiz_2019-07_.pdf 02.11.2019.

Castiglione, M.S. Las enfermedades crónicas no transmisibles. *Revista de Direito Sanitário,* 15(2), 66-72. 2014

Cristóbal, S. Consumo de productos snack en niños de 4, 5 y 6 grado de la EPB. *Tesis de Licenciatura en Nutrición*, Universidad Fasta, Mar del Plata; Argentina. 2008

Marroquín Santamarina, C.A. Formulación y Aceptabilidad de Barras de Amaranto para Población Escolar. *Tesis.* Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Rafael Landívar, Quetzaltenango: Guatemala.2012

Martel, R.G., and Y.C. Arellano. Calidad nutricional de un producto extruido fortificado con dos niveles de hierro proveniente de harina de sangre bovina." ECIPeru*: Revista del Encuentro Científico Internacional,* 10(1), 65-72.2013

Natabirwa, H., D. Nakimbugwe, M. Lung'aho, K.S. Tumwesigye, and J.H. Muyonga, Bean-based nutrient-enriched puffed snacks: Formulation design, functional evaluation, and optimization. *Food Science & Nutrition*, 8(9), 4763-4772.2020

Nurul, H., Leng, A., & Yee, C. (2010). Chemical composition, colour and linear expansion properties of Malaysian commercial fish cracker (keropok). Asian Journal of Food and Agro-Industry, 3, 473-482.

OMS/OPS. Alimentos y bebidas ultraprocesados en América Latina: tendencias, efecto sobre la obesidad e implicaciones para políticas públicas. *PAHO Washington, DC*.2015

Ross, A.C.,J.E. Manson, S.A. Abrams, J.F. Aloia, P.M. Brannon, S.K. Clinton, R.A. Durazo-Arvizu, J.C. Gallagher, R.L. Gallo, and G. Jones. The 2011 report on dietary reference intakes for calcium and vitamin D from the Institute of Medicine: what clinicians need to know? The *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 96(1), 53-58.2011

Rossi, M. C., M.N. Bassett, A.J. De Piero, A.M. Rossi, and N.C. Sammán. Evaluación de la adecuación de nutrientes de los menús institucionales en escuelas de los valles de altura de Tucumán, en dos periodos. *Archivos de Bioquímica, Química y Farmacia* 2017; Tomo XXVI Nº 1: 5-12. ISSN on line: 2313-9757.2018

Ryland, D., M. Vaisey-Genser, S.D. Arntfield, and L.J. Malcolmson. Development of a nutritious acceptable snack bar using micronized flaked lentils*. Food research international,* 43(2), 642-649.2010

Serra Majem, L., J. Aranceta Bartrina, and J. Mataix Verdú, En *Nutrición y Salud Pública*. Masson.2006

Shaviklo, A.R., M. Azaribeh, Y. Moradi, and P. Zangeneh. Formula optimization and storage stability of extruded puffed corn-shrimp snacks. *LWT-Food Science and Technology*, 63(1), 307-314.2015

Silva, E.C.D., S. Sobrinho, and M.P. Cereda, Stability of cassava flour-based food bars. *Food Science and Technology*, 33(1), 192-198.2013

Turner-McGrievy, G., T. Mandes, and A. Crimarco. A plant-based diet for overweight and obesity prevention and treatment. *Journal of geriatric cardiology: JGC*, 14(5), 369. 2017

Uauy, R., E. Carmuega, and J. Belizán. El papel del calcio y la vitamina D en la salud ósea y más allá, Buenos Aires: *Asociación Civil Danone para la Nutrición, la Salud y la Calidad de Vida*.2012.

WHO. Sodium intake for adults and children guidelines.http://www.who.int/nutrition/publications/guidelines/sodium_intake_printversion.pdfGeneva. City.15.09.2016

Zapata, M., A. Rovirosa, and E. Carmuega. La mesa Argentina en las últimas dos décadas: cambios en el patrón de consumo de alimentos y nutrientes 1996-2013. Centro de Estudios sobre Nutrición Infantil-CESNI, editor. Buenos Aires: Centro de Estudios sobre Nutrición Infantil-CESNI.2016

Un nuevo método para la regeneración de solvente por hidrogenación

Tarifa, Enrique E.[1, 2]; Martínez, Sergio L.[1] y Vera, Carlos R.[2, 3]

(1) *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.*
eetarifa@fi.unju.edu.ar; smartinez@fi.unju.edu.ar

(2) *CONICET*

(3) *INCAPE, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral, CONICET.*
cvera@fiq.unl.edu.ar

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es desarrollar un nuevo método para la regeneración del solvente empleado en una extracción líquido-líquido. El método propuesto consiste en la hidrogenación de la impureza disuelta en el solvente para luego regresarla a la corriente que se está purificando. Por este motivo, el método también puede utilizarse para llevar a cabo hidrogenación selectiva. Con el fin de evaluar el método propuesto, se analiza un caso de estudio: la desacidificación de petróleo crudo. Para este caso, se desarrolla un modelo matemático que es resuelto en forma analítica. El modelo está en función de parámetros que son, en su mayoría, adimensionales, lo cual permite generalizar el análisis realizado. La solución analítica es luego empleada para realizar el análisis y el diseño del sistema extractor-reactor adecuado para el caso de estudio. Los resultados obtenidos muestran que el método propuesto es una alternativa adecuada cuando la regeneración del solvente por medio de destilación es imposible o involucra costos elevados.

ABSTRACT

The objective of this work is to develop a new method for the regeneration of the solvent used in a liquid-liquid extraction. The proposed method consists of hydrogenating the impurity dissolved in the solvent and then returning it to the stream that is being purified. For this reason, the method can also be used to carry out selective hydrogenation. In order to evaluate the proposed method, a case study is analyzed: the deacidification of crude oil. For this case, a mathematical model is developed that is solved analytically. The model is based on parameters that are, for the most part, dimensionless, which allows the analysis carried out to be generalized. The analytical solution is then used to perform the analysis and design of the extractor-reactor system suitable for the case study. The results obtained show that the proposed method is a suitable alternative when the regeneration of the solvent through distillation is impossible or involves high costs.

Palabras claves: extracción – hidrogenación – regeneración – crudos ácidos

Keywords: extraction – hydrogenation – regeneration – acid crudes

1 INTRODUCCIÓN

La extracción líquido-líquido es una operación unitaria importante en varios procesos químicos industriales. El costo de la extracción está determinado por el proceso empleado para recuperar el solvente. Cuando el solvente tiene un punto de ebullición menor que el correspondiente al componente extraído, no es conveniente emplear destilación para realizar la recuperación debido a que el costo se eleva considerablemente al ser necesario primero evaporar y luego condensar una gran cantidad de líquido, todo el solvente empleado. Sprakel et al. (2019) y Shah et al. (2016) afirman que un proceso de extracción eficiente no sólo debe lograr una adecuada extracción, sino que también debe permitir la fácil recuperación del solvente usado.

Sprakel et al. (2019) estudiaron la extracción de ácidos de corrientes acuosas. En este caso, para los ácidos con bajo punto de ebullición, la evaporación es la operación más conveniente para recuperar el solvente. Sin embargo, para los ácidos con alto punto de ebullición, se debe recurrir a otras opciones: extracción reversa, variación de temperatura, variación de solvente, variación de pH, desplazamiento de ácidos, precipitación, cristalización, entre otras alternativas (King et al., 1992; Poole & King, 1990). Para este último problema, recientemente se propuso un nuevo método como solución, el cual fue utilizado para la regeneración del solvente empleado en la extracción de ácidos orgánicos. Dicho método regenera el solvente mediante la adsorción cíclica en lechos empacados, los cuales deben ser regenerados periódicamente (Busto et al., 2019; Busto & Vera, 2019).

En el presente trabajo, se propone un nuevo método de regeneración de solvente para procesos de extracción líquido-líquido de impurezas que pueden ser hidrogenadas. El método utiliza un reactor catalítico para realizar la hidrogenación de la impureza disuelta en el solvente. Luego, la impureza ya hidrogenada es extraída del solvente en la etapa de extracción, donde regresa a la corriente que está siendo purificada. La evaluación del método propuesto se realiza por simulación para un caso de estudio. Para ello, se formula un modelo cuyos parámetros son en su mayoría adimensionales. Este modelo se resuelve en forma analítica. La solución obtenida se aplica para diseñar un sistema de extracción-regeneración adecuado para el caso de estudio. Los resultados logrados muestran que el método propuesto es factible y conveniente.

2 MÉTODO DE REGENERACIÓN

En la extracción líquido-líquido que se realiza para extraer una impureza, también llamada soluto, la corriente de alimentación ingresa a la etapa de extracción, donde se pone en contacto con un solvente que extrae la impureza (Figura 1). Generalmente, esta etapa está conformada por un tren de unidades de extracción que funcionan en contracorriente (Figura 2). La corriente purificada que abandona esta etapa se denomina refinado, mientras que la corriente de solvente con la impureza disuelta se denomina extracto. Esta corriente se dirige a la etapa de regeneración, donde se extrae la impureza del solvente para poder reciclarlo a la etapa de extracción. En este trabajo, se propone la regeneración del solvente en dos pasos: primero, hidrogenación de la impureza en un reactor catalítico; luego, transferencia de la impureza hidrogenada del solvente a la alimentación. Para que el método sea efectivo, la impureza hidrogenada debe ser totalmente soluble en la corriente que está siendo purificada y altamente inmiscible en el solvente.

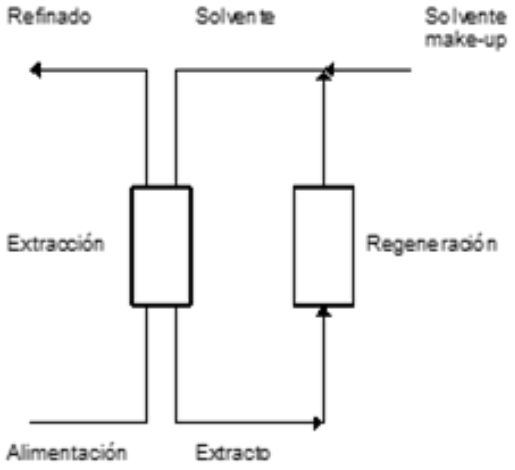


Figura 1. Extracción líquido-líquido.

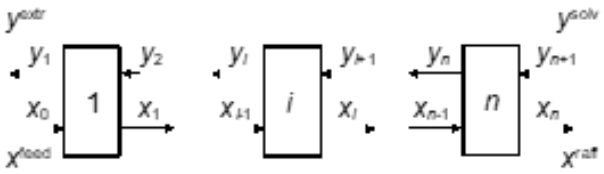


Figura 2. Tren de unidades de extracción en contracorriente.

El método propuesto es adecuado para la eliminación de compuestos polares que tienden a tener el mismo punto de ebullición que otros compuestos no polares, pero que pueden separarse por diferencias de solubilidad en un disolvente apropiado. Desde otro punto de vista, el proceso propuesto puede considerarse conveniente para la hidrogenación selectiva de determinados componentes de la corriente de alimentación.

Para el caso de un petróleo crudo con una impureza polar X, las transferencias que ocurren en el extractor

y la reacción que tiene lugar en el reactor son:

$$X_{(OP)} \rightarrow X_{(SP)} \quad (1)$$

$$X_{(SP)} + H_2 \rightarrow XH_{(SP)} + \text{subproductos}_{(SP)} \quad (2)$$

$$XH_{(SP)} \rightarrow XH_{(OP)} \quad (3)$$

donde SP es la fase solvente y OP es la fase petróleo. Los subproductos de la hidrogenación de un compuesto polar son generalmente agua, amoníaco, hidrógeno, ácido sulfhídrico, entre otros. Existen procesos que permiten retirar del solvente estos compuestos sin mayor dificultad. En algunos casos, estos subproductos son componentes del mismo solvente, como ocurre con las soluciones acuosas de alcohol.

La hidrogenación del extracto tiene ventajas y desventajas frente a la hidrogenación directa de la corriente de alimentación. Entre las ventajas, se tienen las siguientes:

1. La hidrogenación de un extracto diluido causa menos coquización del catalizador, menos envenenamiento del catalizador y menos reacciones secundarias no deseadas.
2. Dado que el extracto tiene una composición más simple que la correspondiente a la alimentación, se simplifica la optimización tanto de los parámetros del proceso como de las condiciones de operación.
3. Una selección adecuada del solvente mejora el desempeño del reactor.
4. Si se logra que el producto de la hidrogenación sea soluble en la alimentación e insoluble en el solvente, se podrá evitar la destilación para regenerar a este último.
5. La selectividad global puede mejorar debido a que, a la selectividad de la extracción, se agrega la selectividad de la hidrogenación.

Entre las desventajas, se pueden citar:

1. Existe la posibilidad de hidrogenar el solvente.
2. El solvente y la impureza pueden participar en reacciones secundarias.
3. La impureza está diluida en el solvente, lo que tiende a producir velocidades bajas de reacción.
4. El hidrógeno disuelto en el refinado debe ser retirado y reciclado.

3 CASO DE ESTUDIO

Para realizar la evaluación del método propuesto, se considera como caso de estudio a la extracción de ácidos nafténicos del petróleo crudo usando metanol como solvente y el catalizador $NiMo/Al_2O_3$ en un reactor *slurry*, en el que se hace burbujear hidrógeno (Figura 3). El solvente es regenerado por hidrodesoxigenación del grupo carboxilo. El agua producida puede retirarse del solvente fácilmente en otra etapa (no incluida en la figura). Este caso es de interés porque los ácidos nafténicos causan corrosión en los puntos calientes de los equipos de una refinería. Si bien existen procesos alternativos para extraer estos ácidos, ninguno es completamente satisfactorio. Por ejemplo, algunas de esas alternativas son diluir el crudo ácido empleando otros de menor acidez, adecuar la metalurgia de los equipos o separar los ácidos nafténicos (Johnson & McAteer, 2003). Dichas alternativas no son convenientes por los altos costos que implican. Otra alternativa es el tratamiento directo del crudo mismo, pero esta alternativa tiende a acortar la vida del catalizador empleado (Grande & Sorlie, 2020).

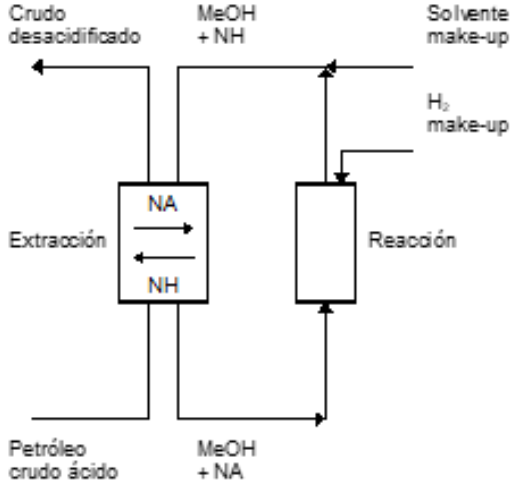


Figura 3. Esquema de un sistema extractor-reactor para la remoción de impurezas polares de un petróleo crudo. NA es un ácido nafténico y NH es el producto de su hidrogenación.

4 MODELO DEL SISTEMA

4.1 *Modelo dinámico*

El modelo dinámico de la etapa de extracción mostrada en la Figura 2 está conformado por las siguientes ecuaciones:

$$y_i^* = m\,x_i \quad (4)$$

$$N_i = a\,K_{SP}\left(y_i^* - y_i\right) \quad (5)$$

$$\frac{1}{K_{SP}} = \frac{1}{k_{SP}} + \frac{m}{k_{OP}} \quad (6)$$

$$(1-\phi)V\frac{dy_i}{dt} = V\,N_i - F_v^{solv}\left(y_i - y_{i+1}\right) \quad (7)$$

$$\phi V\frac{dx_i}{dt} = -V\,N_i + F_v^{oil}\left(x_{i-1} - x_i\right) \quad (8)$$

$$x_0 = x^{feed} \quad (9)$$

$$y_1 = y^{extr} \quad (10)$$

$$y_1 = y^{extr} \quad (11)$$

$$y_{n+1} = y^{solv} \quad (12)$$

donde y es la concentración de la impureza en el solvente, x es la concentración de la impureza en la corriente que está siendo purificada, m es el coeficiente de distribución de Nernst, N es el flujo molar del soluto por unidad de volumen, a es el área de interfaz por unidad de volumen, K es el coeficiente global de transferencia de masa, k es el coeficiente pelicular de transferencia de masa, φ es la relación entre el volumen de petróleo y el del solvente, V es el volumen líquido y F es el flujo molar. El superíndice * indica equilibrio, *solv* indica solvente, *oil* indica petróleo, *feed* indica alimentación, *raff* indica refinado y *extr* indica extracto. El subíndice *i* identifica a la unidad, SP indica fase solvente y OP indica fase petróleo.
El modelo dinámico del reactor es el siguiente:

$$V_r \frac{dy_r}{dt} = F^{solv}\left(y^{extr} - y_r\right) - V_r\, r_{NA} \tag{13}$$

$$y^{solv} = y_r \tag{14}$$

$$r_{NA} = \frac{1}{R_{total}}\left(\frac{p_{H_2(G)}}{H}\right) \tag{15}$$

$$R_{total} = R_{MT} + R_{DR} \tag{16}$$

$$R_{MT} = R_{GL} + R_{LS} \tag{17}$$

$$R_{GL} = \frac{1}{H\, k_G a_G} + \frac{1}{k_L a_G} \tag{18}$$

$$R_{LS} = \frac{1}{C_C\, k_C a_C} \tag{19}$$

$$R_{DR} = \frac{1}{C_C\left(k\, y_r\right)\xi} \tag{20}$$

donde y_r es la concentración en el reactor, V_r es el volumen líquido en el reactor, r_{NA} es la velocidad de reacción de hidrogenación de la impureza, R_{total} es la resistencia total de la reacción, $p_{H2(G)}$ es la presión del hidrógeno en la fase gaseosa, H es la constante de Henry, R_{MT} es la resistencia de la transferencia de masa, R_{DR} es la resistencia de la difusión y reacción, R_{GL} es la resistencia de la interfaz gas-líquido, R_{LS} es la resistencia de la interfaz líquido-sólido, $k_G a_G$ es el producto del coeficiente pelicular de transferencia de masa por el área interfacial por unidad de volumen en la fase gaseosa, $k_L a_G$ es el producto del coeficiente pelicular de transferencia de masa por el área interfacial por unidad de volumen en la fase líquida, C_C es la masa de catalizador por unidad de volumen, k es la constante cinética y ξ es el factor de efectividad interna.
Para resolver el modelo presentado, se debe recurrir a métodos numéricos. Sin embargo, cuando el sistema está en estado estacionario y la etapa de extracción está formada por una sola unidad, el modelo se puede resolver en forma analítica. Este tipo de solución siempre es preferible a la numérica por la cantidad y calidad de información que brinda, la cual es muy valiosa a la hora de evaluar un nuevo proceso. Por ese motivo, a continuación, se plantea y resuelve el modelo estacionario considerando una única unidad en la etapa de extracción.

4.2 *Modelo estacionario para un extractor y un reactor*

Considerando un solo extractor en la Figura 2, y que además está en estado estacionario, el modelo dinámico planteado anteriormente para una unidad de extracción resulta en:

$$0 = V\, a\, K_{SP}\left(m\, x^{raff} - y^{extr}\right) - F_v^{solv}\left(y^{extr} - y^{solv}\right) \tag{21}$$

$$0 = -V\, a\, K_{SP}\left(m\, x^{raff} - y^{extr}\right) + F_v^{oil}\left(x^{feed} - x^{raff}\right) \tag{22}$$

Para generalizar el análisis, se definen los siguientes números adimensionales:

$$\phi = \frac{F_v^{oil}}{F_v^{oil} + F_v^{solv}} \tag{23}$$

$$\alpha = \frac{F_v^{oil}}{V\, aK_{SP}} = \frac{\phi}{\tau\, aK_{SP}} \tag{24}$$

$$\beta = \frac{F_v^{solv}}{V\, aK_{SP}} = \frac{1-\phi}{\tau\, aK_{SP}} \tag{25}$$

En el estado estacionario, considerando agitación perfecta, el valor de φ se puede calcular en función de los flujos molares, ec. (23).
Si además se considera la siguiente dependencia lineal (Busto et al., 2019):

$$aK_{SP} = \psi\, \phi \tag{26}$$

se tiene:

$$\alpha = \frac{1}{\tau\, \psi} \tag{27}$$

$$\beta = \frac{1-\phi}{\tau\, \psi\, \phi} \tag{28}$$

Para simplificar la forma de la solución del modelo, se definen adicionalmente los siguientes números adimensionales:

$$\omega = \frac{m\, \beta}{m\, \beta + \alpha\left(1+\beta\right)} \tag{29}$$

$$\sigma = \frac{\alpha}{\left(\alpha + m\right)\beta + \alpha} \tag{30}$$

Como α, β y m son positivos, entonces se cumple:

$$0 \le \omega \le 1 \quad (31)$$

$$0 \le \sigma \le 1 \quad (32)$$

Con estos nuevos números adimensionales, la solución del modelo es:

$$x^{\text{raff}} = \omega \frac{y^{\text{solv}}}{m} + (1-\omega) x^{\text{feed}} \quad (33)$$

$$y^{\text{extr}} = (1-\sigma) y^{\text{solv}} + \sigma m x^{\text{feed}} \quad (34)$$

Por lo tanto, x^{raff} es un promedio de y^{solv}/m y x^{feed}, e y^{extr} es un promedio de y^{solv} y $m\, x^{\text{feed}}$. Si ω tiende a uno, x^{raff} tiende al equilibrio con el y^{solv}. Si σ tiende a uno, y^{extr} tiende al equilibrio con x^{feed}. Estos números adimensionales se relacionan directamente con el tamaño del extractor e inversamente con el tamaño del reactor.

4.2.1 Resistencia de reacción controlante

Para modelar el reactor, se debe tener en cuenta cuál es la resistencia controlante. Si se considera que la resistencia de difusión y reacción es la controlante, se tiene:

$$0 = F^{\text{solv}} \left(y^{\text{extr}} - y^{\text{solv}} \right) - V_r\, C_C\, k\, \xi \left(\frac{p_{H_2(G)}}{H} \right) y^{\text{solv}} \quad (35)$$

Para generalizar el análisis, se define el siguiente número adimensional:

$$\gamma = \frac{V_r\, C_C\, k\, \xi}{F^{\text{solv}}} \left(\frac{p_{H_2(G)}}{H} \right) = \tau_r\, C_C\, k\, \xi \left(\frac{p_{H_2(G)}}{H} \right) \quad (36)$$

Este número está directamente vinculado con el tamaño del reactor e inversamente con el tamaño del extractor.

Usando el número adimensional γ, la ec. (35) resulta en:

$$0 = y^{\text{extr}} - (1+\gamma)\, y^{\text{solv}} \quad (37)$$

Resolviendo la ec. (34) y la ec. (37), se tiene:

$$y^{\text{solv}} = \frac{\sigma m}{\gamma + \sigma} x^{\text{feed}} \quad (38)$$

Reemplazando este resultado en la ec. (33), se obtiene:

$$x^{\text{raff}} = \left(\frac{\omega \sigma}{\gamma + \sigma} + 1 - \omega \right) x^{\text{feed}} \quad (39)$$

En definitiva, x^{raff} es función de ω, σ, γ y x^{feed}, siendo directamente proporcional a esta última.

Para simular la performance del sistema dado x^{feed}, τ, φ, k_{SP}, m, τ_r, C_C, k, ξ, $p_{H2(G)}$ y H, se debe proceder de la siguiente manera:

1. Calcular α y β usando las ecs. (27) y (28).
2. Calcular ω y σ usando las ecs. (29) y (30).
3. Calcular γ con la ec. (36).
4. Calcular x^{raff} con la ec. (39).

Si se desean encontrar las condiciones de diseño o de operación requeridas para alcanzar un cierto valor deseado de x^{raff}, se puede usar el mismo procedimiento en forma iterativa: se proponen las condiciones de diseño y de operación, y se simula la performance del equipo para verificar si el x^{raff} resultante es el deseado. Si no lo es, se modifican las condiciones y se repite el cálculo hasta alcanzar el valor deseado de x^{raff}. En este caso, lo ideal es plantear un modelo de optimización para determinar las condiciones de diseño y operación que minimizan el costo total anual del equipo (inversión más costo de operación anualizado), a la vez que se cumple con la restricción de que x^{raff} sea menor a un cierto valor especificado.

El procedimiento sugerido para realizar el diseño del equipo tiene como desventaja la necesidad de iterar proponiendo valores para cinco variables: τ, φ, τ_r, C_C y $p_{H2(G)}$. Una posible alternativa que disminuye la cantidad de variables a proponer y la cantidad de iteraciones es invertir el modelo. En ese modelo invertido, para un x^{feed} dado y un x^{raff} deseado, se propone γ o se calcula para las condiciones propuestas para el reactor, ec. (36). Luego, se propone un valor para ω y se calcula σ con la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{x^{\text{feed}}\, \gamma}{x^{\text{feed}} - x^{\text{raff}}} \omega - \gamma \quad (40)$$

Con ω y σ conocidos, se pueden calcular α y β::

$$\alpha = \frac{m(1-\omega-\sigma)}{\omega} \quad (41)$$

$$\beta = \frac{1-\omega-\sigma}{\sigma} \quad (42)$$

Considerando que α y β deben ser positivos para que la solución tenga sentido físico, de las dos últimas ecuaciones surge la siguiente condición que deben cumplir ω y σ:

$$\omega + \sigma < 1 \quad (43)$$

A partir de esa condición y de las ecs. (31), (32) y (40), las condiciones que debe cumplir el ω propuesto son:

$$\omega \geq \frac{x^{\text{feed}} - x^{\text{raff}}}{x^{\text{feed}}} \tag{44}$$

$$\omega \leq \frac{(1+\gamma)\left(x^{\text{feed}} - x^{\text{raff}}\right)}{(1+\gamma)x^{\text{feed}} - x^{\text{raff}}} \tag{45}$$

Una vez obtenidos α y β, se pueden determinar las condiciones para la operación y el diseño a partir de las ecs. (27) y (28):

$$\tau = \frac{1}{\alpha\psi} \tag{46}$$

$$\tau = \frac{1}{\alpha\psi} \tag{47}$$

Por lo planteado, el esquema de cálculo para el diseño del sistema para obtener un valor deseado para x^{raff} a partir de un valor dado de x^{feed} consiste de los siguientes pasos:

1. Proponer un valor de γ.
2. Proponer un valor de ω que cumpla con las condiciones dadas en las ecs. (44) y (45).
3. Calcular σ con la ec. (40).
4. Calcular α y β con las ecs. (41) y (42).
5. Calcular φ y τ con las ecs. (46) y (47).

4.2.2 Resistencia de transferencia de masa controlante

Para el caso en que la resistencia de la transferencia de masa sea la controlante, se tiene que el balance en el reactor es:

$$0 = F^{\text{solv}}\left(y^{\text{extr}} - y^{\text{solv}}\right) - \frac{V_r}{R_{\text{MT}}}\left(\frac{p_{\text{H}_2(\text{G})}}{H}\right) \tag{48}$$

Definiendo la concentración ficticia y^*, se tiene:

$$0 = y^{\text{extr}} - y^{\text{solv}} - y^* \tag{49}$$

$$y^* = \frac{V_r}{F^{\text{solv}} R_{\text{MT}}}\left(\frac{p_{\text{H}_2(\text{G})}}{H}\right) = \frac{\tau_r}{R_{\text{MT}}}\left(\frac{p_{\text{H}_2(\text{G})}}{H}\right) \tag{50}$$

Resolviendo ecs. (34) y (49), se obtiene:

$$y^{\text{solv}} = m\,x^{\text{feed}} - \frac{y^*}{\sigma} \tag{51}$$

Esta vez, x^{raff} en función de x^{feed} es:

$$x^{\text{raff}} = x^{\text{feed}} - \frac{y^*\,\omega}{m\,\sigma} \tag{52}$$

En definitiva, x^{raff} es función de m, ω, σ, y^* y x^{feed}; sin embargo, a diferencia del caso anterior, no es directamente proporcional a esta última variable.

Para simular la performance del sistema dado x^{feed}, τ, φ, k_{SP}, m, τ_r, C_C, $k_L a_G$, $k_C a_C$, $p_{\text{H2(G)}}$ y H, se debe proceder de la siguiente manera:

1. Calcular α y β usando las ecs. (27) y (28).
2. Calcular ω y σ usando las ecs. (29) y (30).
3. Despreciando la resistencia en la fase gas, calcular R_{GL} con la ec. (18).
4. Calcular R_{LS} con la ec. (19).
5. Calcular R_{MT} con la ec. (17).
6. Calcular y^* con la ec. (50).
7. Calcular x^{raff} con la ec. (52).

Si se desean encontrar las condiciones de diseño o de operación requeridas para alcanzar un cierto valor deseado de x^{raff}, se puede usar el mismo procedimiento en forma iterativa.

Nuevamente, para reducir la cantidad de variables a proponer y de iteraciones, se invierte el modelo. En ese caso, para un x^{feed} dado y un x^{raff} deseado, se propone y^* o se lo calcula para las condiciones propuestas para el reactor, ec. (50). Luego, se propone un valor de ω y se calcula σ con la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{y^*}{m\left(x^{\text{feed}} - x^{\text{raff}}\right)}\omega \tag{53}$$

Con estos valores, se procede de forma similar al caso de resistencia de reacción controlante para calcular α y β, primero, y φ y τ, luego.

Para que la solución tenga sentido físico, nuevamente se pueden deducir las condiciones que debe cumplir el valor propuesto para ω:

$$\omega < \frac{1}{\dfrac{y^*}{m\left(x^{\text{feed}} - x^{\text{raff}}\right)} + 1} \tag{54}$$

Por todo lo planteado, el diseño del sistema para obtener un valor deseado de x^{raff} a partir de un valor dado de x^{feed} está definido por los siguientes pasos:

1. Proponer un valor de y^*.
2. Proponer un valor de ω que cumpla con la condición dada en la ec. (54).
3. Calcular σ con la ec. (53).
4. Calcular α y β con las ecs. (41) y (42).
5. Calcular φ y τ con las ecs. (46) y (47).

5 DISEÑO DEL SISTEMA

Para el caso de estudio, la Tabla 1 presenta los valores que adoptan los parámetros del sistema. Esos valores fueron tomados de bibliografía (Busto & Vera,

2019) y de mediciones realizadas en laboratorio. En esas condiciones, la resistencia de reacción es la controlante. El valor requerido de x^{raff} para que el crudo tratado sea considerado procesable es 7.14 mol m^{-3}, el cual corresponde a un TAN_{limit} = 0.5 mg_{KOH} g^{-1}.

Tabla 1. Valores de los parámetros del sistema para el caso de estudio.

Parámetro	Rango
ψ	0.38 s^{-1}
ξ	1
τ	60 s
τ_r	3600 s
φ	0.15
m	0.66
C_C	40 kg m^{-3}
k	3×10^{-8} m^6 (mol kg s)$^{-1}$
H	7700 Pa m^3 mol^{-1}
$p_{H2(G)}$	5×10^6 Pa
x^{feed}	80 mol m^{-3}
x^{raff}	7.14 mol m^{-3}

Para aplicar el algoritmo de diseño correspondiente, es necesario proponer un valor de γ. Esa propuesta se puede hacer en base a la Figura 4, donde se presentan los límites inferior y superior para ω en función de γ. Se debe tener en cuenta que γ está directamente vinculado con el tamaño del reactor e inversamente con el tamaño del extractor, y que ω está relacionado directamente con el tamaño del extractor e inversamente con el tamaño del reactor. Otra forma de proponer γ es primero proponer las condiciones para el reactor, como las propuestas en la Tabla 1, y luego calcular γ, lo que resulta en un valor de 2.8052.

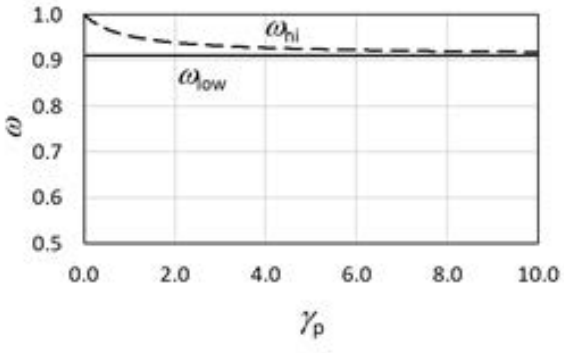


Figura 4. Límites inferior y superior de ω en función de γ para el diseño de una unidad extractor-reactor con x^{raff} = 7.14 mol m^{-3}.

Una vez propuesto el valor de γ, se obtienen los límites de ω, ya sea de las ecs. (44) y (45) o de la Figura 4, resultando el límite inferior 0.9107 y el superior 0.9326. Para ω = 0.92, de la Figura 5, se tiene ϕ = 0.02 y τ = 71 s; y para ω = 0.93, ϕ = 0.04 y τ = 350 s. Ambos resultados son inaceptables debido al bajo valor de ϕ. Por lo tanto, no es posible realizar la purificación deseada con una única unidad extractora.

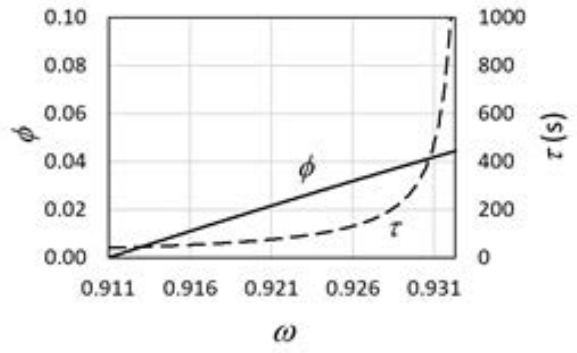


Figura 5. φ y τ en función de ω para una unidad extractor-reactor con x^{raff} = 7.14 mol m^{-3}.

Si, en cambio, se conectan dos unidades extractor-reactor en serie, como lo indica la Figura 6, sí se puede reducir la concentración en el refinado al valor deseado. Para ello, nuevamente se aplica el mismo algoritmo de diseño para cada unidad. La concentración de salida de la primera unidad se calcula sabiendo que, por la ec. (39), las dos unidades reducen la concentración en la misma proporción, $(7.14/80)^{0.5}$ = 0.30; por lo tanto, la concentración intermedia es 23.90 mol m^{-3}. Con este valor, se procede a diseñar la primera unidad. La segunda unidad es igual. Para el mismo valor de γ (se conserva el reactor), se calculan los límites de ω, resultando, de la Figura 7, el límite inferior 0.7012 y el superior 0.761. De la Figura 8, para ω = 0.71, se tiene ϕ = 0.03 y τ = 11 s; y para ω = 0.76, ϕ = 0.17 y τ = 640 s. Ambos resultados son inaceptables debido al bajo valor de ϕ en el primero y al alto valor de τ en el segundo. Por lo tanto, una mejor solución se puede obtener para un ω intermedio. Para ω = 0.751, resulta ϕ = 0.15 y τ = 60 s, lo que es un diseño razonable. Más aún, en la figura se puede apreciar que, para valores mayores de ω, τ comienza a crecer rápidamente, lo que implica un aumento considerable en el tamaño del extractor.

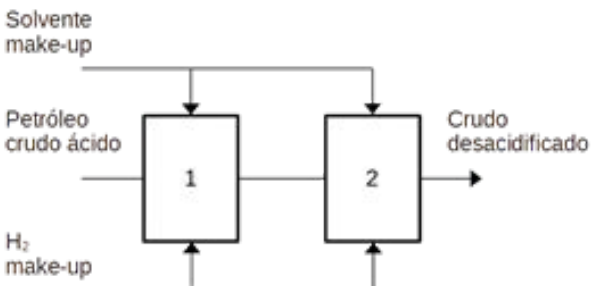


Figura 6. Dos unidades extractor-reactor en serie para el caso de estudio.

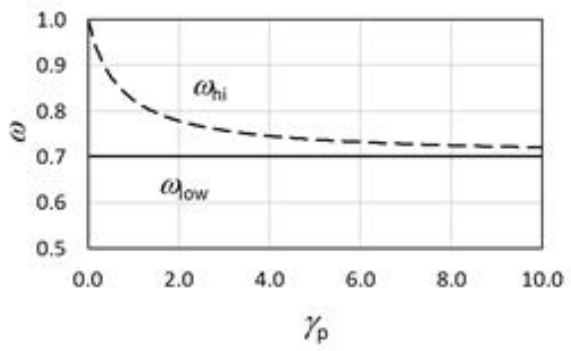


Figura 7. Límites inferior y superior de ω en función de γ para el diseño de una unidad extractor-reactor con x^{raff} = 23.90 mol m^{-3}.

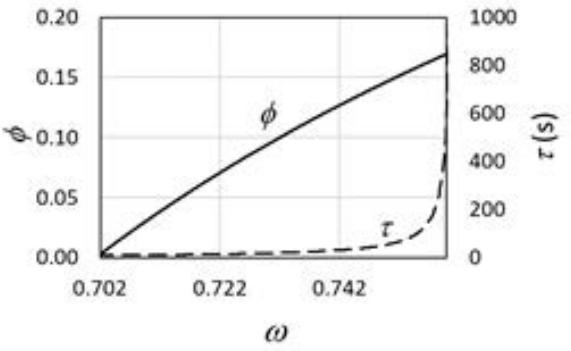


Figura 8. φ y τ en fusión de ω para el diseño de una unidad extractor-reactor con x^{raff} = 23.90 mol m^{-3}.

6 CONCLUSIONES

En este trabajo, se propuso la hidrogenación de la impureza como un nuevo método para regenerar el solvente utilizado en una extracción líquido-líquido. El método propuesto también es aplicable para realizar hidrogenación selectiva. Cuando es aplicable, las principales ventajas de la propuesta es que reduce los costos en comparación con la destilación del solvente y aumenta la eficiencia de la regeneración.

Para evaluar el método propuesto, se aplicó a la eliminación de un ácido nafténico de un petróleo crudo. La impureza extraída por el solvente es hidrogenada en un reactor, y la el producto no polar es regresado al crudo en la unidad de extracción.

La evaluación del caso de estudió mostró que el método propuesto hace posible la regeneración eficiente del solvente. Además, mostró que el modelo desarrollado es adecuado para el análisis y diseño del sistema de extracción-regeneración que implementa los principios presentados en este trabajo.

7 REFERENCIAS

Busto, M., E. E. Tarifa, C. R. Vera, Extraction/adsorption as applied to the dearomatization of white mineral oil, *Chemical Engineering Research and Design*, *146*, 239-248, 2019.

Busto, M., C. R. Vera, Deacidification of vegetable oil by extraction with solvent recovery, *Adsorption*, *25*(7), 1397-1407, 2019.

Grande, K., C. Sorlie, *Process for removing essentially naphthenic acids from a hydrocarbon oil* (United States Patent and Trademark Office Patent N.º 6063266), 2020.

Johnson, D., G. McAteer, The safe processing of high naphthenic acid content crude oils—Refinery experience and mitigation studies. *CORROSION 2003*, 2003.

King, C. J., J. N. Starr, L. J. Poole, J. A. Tamada, Regeneration of carboxylic acid extracts. En *Process Metallurgy* (Vol. 7, pp. 1791-1796). Elsevier, 1992.

Poole, L. J., C. J. King, *Novel regenerated solvent extraction processes for the recovery of carboxylic acids or ammonia from aqueous solutions Part I. Regeneration of amine-carboxylic acid extracts* (LBL--28614, 937438; p. LBL--28614, 937438), 1990.

Shah, V. H., V. Pham, P. Larsen, S. Biswas, T. Frank, Liquid–liquid extraction for recovering low margin chemicals: Thinking beyond the partition ratio. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, *55*(6), 1731-1739, 2016.

Sprakel, L. M. J., A. F. M. Holtkamp, R. Bassa, B. Schuur, Swing processes for solvent regeneration in liquid-liquid extraction of succinic acid. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, *143*, 107600, 2019.

Una nueva alternativa para la esterilización de salas destinadas a pacientes con COVID-19

Tarifa, Enrique E.[1, 2]; Martínez, Sergio L.[1] y Vera, Carlos R.[2, 3]

(1) *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy.*
eetarifa@fi.unju.edu.ar; smartinez@fi.unju.edu.ar

(2) *CONICET*

(3) *INCAPE, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral, CONICET.*
cvera@fiq.unl.edu.ar

RESUMEN

En el presente trabajo, se evalúa la efectividad de las recomendaciones dadas por la OMS para el tratamiento del aire de salas destinadas a la internación de pacientes con COVID-19. Dado el alto riesgo que implica la realización de experiencias con el propio virus, el estudio se implementa por medio de simulación. El modelo planteado se resuelve en forma analítica. Los resultados muestran que el tratamiento centralizado del aire, según las recomendaciones vigentes, no es lo suficientemente eficaz como para garantizar la salud del personal sanitario. Esta conclusión es válida independientemente de la tecnología empleada por el equipo esterilizador. Como alternativa superadora, en este trabajo, se propone el tratamiento descentralizado del aire. Para ello, se instalan carpas de aislamiento individuales en las camas de los pacientes y se asigna un equipo esterilizador independiente para el tratamiento del aire de cada una de las carpas. La evaluación de esta alternativa mostró que puede garantizar que no habrá contagio durante un tiempo aceptable de permanencia en la sala. Las carpas a emplear son de bajo costo y de fácil instalación. Además, el tamaño de los esterilizadores asignados a las carpas es mucho menor que el requerido en la alternativa centralizada.

ABSTRACT

In the present work, the effectiveness of the WHO recommendations for the treatment of the air of rooms hospitalization of patients with COVID-19 is evaluated. Given the high risk involved in carrying out experiments with the virus itself, the study is implemented through simulation. The proposed model is solved analytically. The results show that centralized air treatment, according to current recommendations, is not effective enough to guarantee the health of healthcare personnel. This conclusion is valid regardless of the technology used by the sterilizing device. As a better alternative, in this work, decentralized air treatment is proposed. For this, individual isolation tents are installed in the beds of the patients and an independent sterilizing device is assigned to treat the air of each of the tents. The evaluation of this alternative showed that it can guarantee that there will be no contagion during an acceptable time of stay in the room. The tents to be used are inexpensive and easy to install. In addition, the size of the sterilizing devices assigned to the tents is much smaller than that required in the centralized alternative.

Palabras claves: SARS-CoV-2 – COVID-19 – esterilización – simulación

Keywords: SARS-CoV-2 – COVID-19 – sterilization – simulation

1 INTRODUCCIÓN

A fines de 2019, se inició la pandemia de la COVID-19 causada por el coronavirus SARS-CoV-2. En 2020, la OMS (OMS, 2020) aceptó que la transmisión aérea del virus podría ser posible en circunstancias y lugares específicos, donde se efectúen procedimientos o se administren tratamientos que puedan generar aerosoles (por ejemplo, intubación endotraqueal, broncoscopia, aspiración abierta, administración de un fármaco por nebulización, ventilación manual antes de la intubación, giro del paciente a decúbito prono, desconexión del paciente de un ventilador, ventilación no invasiva con presión positiva, traqueostomía y reanimación cardiopulmonar). Por sus siglas en inglés, estos procedimientos se denominan AGP (*aerosol generating procedure*, procedimientos generadores de aerosoles). Para los lugares donde un AGP se lleva a cabo, la OMS recomienda una cantidad mínima de renovaciones de aire por hora (WHO, 2021a).

Ante la insistencia de especialistas de todo el mundo, recién el 30 de abril de 2021, la OMS comunicó claramente que la principal vía de contagio de la COVID-19 son los aerosoles que emiten los afectados por la enfermedad (WHO, 2021b). Los aerosoles son pequeñas gotas, con diámetro menor a 5 µm, que una persona emite al respirar, hablar, estornudar o toser. Estas gotas pueden permanecer en el aire de 0.5 a 3 h (Kern & Krishnan, 2006).

El reconocimiento tardío de la OMS, obliga a la reformulación de los protocolos de prevención. Al ser los aerosoles la principal vía de contagio, el tratamiento del aire recomendado para los lugares donde se realiza un AGP se debe extender a todos los lugares donde esté presente una persona afectada por la enfermedad. Por el mismo motivo, el tratamiento debe ser continuo, no sólo cuando se realiza un AGP.

Para el tratamiento del aire se dispone de una variedad de tecnologías. Los filtros son los equipos más empleados. Estos equipos son efectivos para una gran variedad de microorganismos con tamaños mayores de 0.3 µm, como esporas de hongos y bacterias. Sin embargo, los virus son más pequeños, y no pueden ser completamente retenidos por los filtros (3M, 2020).

Para el caso de los virus, un adecuado complemento para los filtros es el posterior tratamiento térmico del aire. Este concepto surgió en los años cincuenta para la esterilización del aire destinado a biorreactores. La esterilización se logra calentando el aire a una temperatura suficientemente alta, y manteniéndolo a esa temperatura durante el tiempo necesario para alcanzar el grado de esterilización requerido (Elsworth et al., 1955). Tarifa et al. (2020) presentaron el diseño óptimo de un equipo que funciona con dicho principio. Otras tecnologías disponibles complementan la filtración con un tratamiento destructivo: calentamiento eléctrico, descarga eléctrica, ionización, ozonización, descarga de plasma, radiación UV (WHO, 2021a).

En el presente trabajo, se evalúa la eficacia del tratamiento del aire en una sala con pacientes con COVID-19 realizado de acuerdo a las recomendaciones de la OMS (WHO, 2021a). Debido al riesgo que implica la experimentación con el propio virus, el estudio se realiza mediante simulación. Los resultados de la evaluación muestran que, independientemente de la tecnología empleada, el tratamiento es ineficaz. Ante esa situación, en este trabajo, se propone un nuevo método de tratamiento, el cual aumenta la eficacia en varios órdenes de magnitud con respecto al tratamiento recomendado por la OMS. De esta manera, se puede garantizar que el personal sanitario podrá permanecer en la sala un tiempo mayor, sin riesgo para su salud.

2 TRATAMIENTO CENTRALIZADO

2.1 *Sistema*

La Fig. 1 presenta el sistema a analizar en primer lugar. En este sistema, de acuerdo a las recomendaciones de la OMS (WHO, 2021a), se realiza el tratamiento del aire de una sala que alberga a pacientes con COVID-19. El aire de la habitación es enviado a un equipo esterilizador. El aire esterilizado es reciclado a la habitación. Con el fin de suministrar el oxígeno necesario para respirar y para mantener el nivel del anhídrido carbónico en un valor aceptable, se emplea un sistema de ventilación que suministra aire fresco a la sala y retira el aire usado. En el estudio, se considera una habitación con un volumen $V_{room} = 50$ m^3, la cual aloja a $N_p = 3$ pacientes.

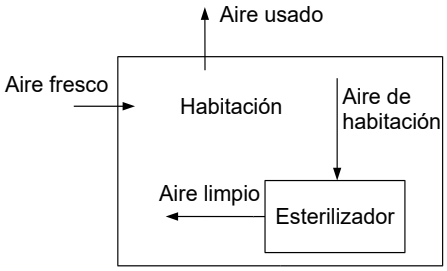


Figura 1. Tratamiento centralizado del aire de una sala.

2.2 *Ventilación*

La norma ASHRAE 62-1989 recomienda un flujo de aire de 25 pie^3 min^{-1} por cada paciente de una sala de hospital. Dicha norma toma en cuenta tanto la demanda de oxígeno como el mantenimiento de la concentración del anhídrido carbónico en un nivel seguro. Por lo tanto, para la sala en consideración, el flujo de aire fresco debe ser igual a $F_{air} = 127$ m^3 h^{-1}.

2.3 *Máximo tiempo de exposición*

La cantidad N_{exp} de copias de virus aspiradas por una persona depende del tiempo de exposición , del flujo de respiración F_{breath} y de la concentración C del virus en el ambiente:

$$N_{exp} = \int_0^t C(\xi) F_{breath}\, d\xi \qquad (1)$$

En promedio, una persona adulta en reposo realiza 12 ciclos de respiración por minuto, aspirando 0.5 L de aire en cada uno de ellos. Por lo tanto, el flujo de respiración de un paciente es $F_{breath} = 0.36$ m^3 h^{-1}.
La mínima dosis de virus que provoca una infección en una persona, MID (*minimum infective dose*), aún es objeto de estudio. Sin embargo, es posible proponer un valor aproximado a partir de trabajos ya publicados. Schröder (2020) sugiere que el MID para el SARS-CoV-2 debería ser menor que el correspondiente al virus SARS-CoV-1. Watanabe et al. (2010) estimaron que el valor del MID para el SARS-CoV-1 es 280 copias virales. Chaudhuri et al. (2020) desarrollaron un modelo para predecir la propagación de la COVID-19 y realizaron experiencias con diferentes valores de MID para el SARS-CoV-2 (10, 100 y 1000 copias de virus). Luego, compararon los resultados de las simulaciones con datos previamente publicados y concluyeron que el MID para el SARS-CoV-2 es del orden de 10 copias de virus. Con un método similar, Lelieveld et al. (2020) desarrollaron un modelo para la transmisión de la COVID-19, en el cual emplearon valores de MID en el rango de 100 a 1000 copias de virus. Del análisis realizado, en el presente trabajo, se adopta el valor conservador de $MID = 50$ copias de virus.
Haciendo $N_{exp} = MID$ en la ec. (1), se puede estimar el máximo tiempo de exposición *MET* (*maximum exposition time*) durante el cual una persona puede permanecer en el ambiente contaminado sin ser infectada:

$$MET = \frac{MID}{F_{breath}\, C} \qquad (2)$$

La Fig. 2 expone la dependencia del máximo tiempo de exposición en función de la concentración del virus SARS-CoV-2 en el aire de la habitación. Considerando que las personas que cuidan a los pacientes tienen un tiempo de permanencia en la sala menor a 8 h, se adopta ese valor como el mínimo valor aceptable para el *MET*. El valor adoptado es bastante conservador debido a que las personas a cargo del cuidado de los pacientes no permanecen durante todo el turno de trabajo en la sala contaminada. Para garantizar un *MET* superior al valor planteado, la máxima concentración de virus permitida en la sala es 20 copias m^{-3}.

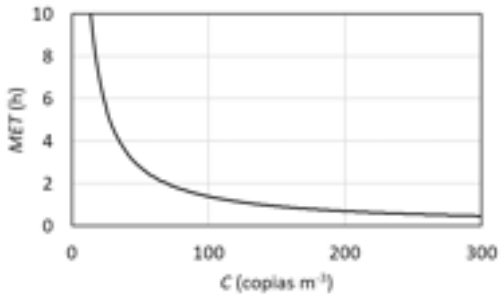


Figura 2. Máximo tiempo de exposición en función de la concentración del virus SARS-CoV-2 en el aire de la habitación.

2.4 *Fuentes y sumideros de virus*

En la respiración de una persona infectada típica, la concentración viral es 1.7 copias m^{-3}. Esta concentración se eleva hasta 2.26×10^5 copias m^{-3} en casos extremos (Riediker & Tsai, 2020). Como $F_{breath} = 0.36$ m^3 h^{-1}, para el caso extremo, la velocidad de emisión viral por la respiración de un paciente es $\gamma = 81360$ copias h^{-1}. Cuando el paciente tose, la concentración típica es 1.56×10^5 copias m^{-3}, y puede llegar hasta 2.0221×10^{10} copias m^{-3} en casos extremos (Riediker & Tsai, 2020). Para este caso extremo, $\gamma = 7.28\times10^9$ copias h^{-1}. En el presente trabajo, se adopta el valor promedio $\gamma = 1.00\times10^5$ copias h^{-1}.
La concentración viral en el aire decae continuamente debido a que, por un lado, el virus se desactiva con el tiempo y, por otro, las partículas se depositan en las superficies presentes (Hussein et al., 2009). Para el SARS-CoV-2, la velocidad de decaimiento es $k_d = 0.63$ h^{-1}. Este valor fue calculado considerando un tiempo de vida media igual a 1.1 h (Riediker & Tsai, 2020).

2.5 *Evaluación del sistema*

A continuación, se analiza la eficacia de la esterilización realizada por un equipo que procesa el aire de toda la habitación (Fig. 1). Este análisis es independiente de la tecnología empleada por el equipo esterilizador.
En este estudio, el aire de la habitación es contaminado por la respiración y eventual tos de N_p pacientes. En estas condiciones, el balance de virus en la habitación es el siguiente:

$$V_{\text{room}} \frac{dC_{\text{room}}}{dt} = -F_{\text{air}} C_{\text{room}} - V_{\text{room}} ACH \left(1 - \frac{T_{\text{out}}}{T_{\text{room}}} f_{\text{e}}\right) C_{\text{room}} + N_{\text{p}} \gamma - V_{\text{room}} k_{\text{d}} C_{\text{room}} \quad (3)$$

$$C_{\text{out}} = f_{\text{e}} C_{\text{tent}} \quad (4)$$

donde V_{room} es el volumen de la habitación, C_{room} es la concentración del virus en la habitación, ACH es el cambio de aire de la habitación por hora, C_{out} es la concentración del virus en el aire ya procesado por el esterilizador y f_{e} es el factor de esterilización. La relación $T_{\text{out}}/T_{\text{room}}$ corrige la densidad del aire para equipos que emplean calentamiento. Se supone que el aire fresco no contiene virus.

El balance planteado tiene la siguiente solución analítica:

$$C_{\text{room}} = \frac{a}{b} + \left(C_0 - \frac{a}{b}\right) e^{-bt} \quad (5)$$

$$a = \frac{N_{\text{p}} \gamma}{V_{\text{room}}} \quad (6)$$

$$b = \frac{F_{\text{air}}}{V_{\text{room}}} + ACH \left(1 - \frac{T_{\text{out}}}{T_{\text{room}}} f_{\text{e}}\right) + k_{\text{d}} \quad (7)$$

La Fig. 3 exhibe la evolución de la concentración viral en la habitación a partir del momento en que ingresan los pacientes a la habitación. El esterilizador está encendido desde el inicio. La habitación inicialmente tiene aire no contaminado, $C_{\text{room}}{}^{0} = 0$ copias m^{-3}. Los valores adoptados para los parámetros para este caso son $V_{\text{room}} = 50$ m^3, $N_{\text{p}} = 3$, $\gamma = 1.00 \times 10^5$ copias h^{-1}, $k_{\text{d}} = 0.63$ h^{-1}, $T_{\text{room}} = 298.15$ K, $T_{\text{out}} = 313.15$ K, $f_{\text{e}} = 0.001$ y $F_{\text{air}} = 127$ m^3 h^{-1}.

La Fig. 4 explicita la evolución de la concentración viral en la habitación con pacientes a partir del momento en que se enciende el esterilizador. La concentración inicial corresponde al estado estacionario de la habitación ya con pacientes; pero con el esterilizador apagado ($ACH = 0$ h^{-1}), $C_{\text{room}}{}^{0} = 1893$ copias m^{-3}. Como era de esperarse, tanto en el caso considerado en la Fig. 3 como en la Fig. 4, a pesar de tener diferentes condiciones iniciales, el estado estacionario final es el mismo, y se alcanza en menos de 0.5 h para $ACH > 3$ h^{-1}. En las pruebas realizadas, se observó que las evoluciones presentadas en ambas figuras son poco sensibles a variaciones en los valores de T_{room}, T_{out} y f_{e}. Por lo tanto, los resultados obtenidos son independientes de la tecnología empleada por el equipo esterilizador.

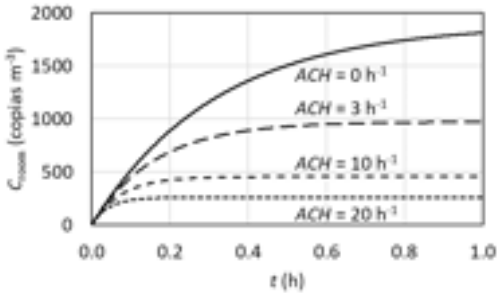


Figura 3. Evolución de la concentración viral en la habitación a partir del momento en que ingresan los pacientes. El esterilizador se enciende al inicio.

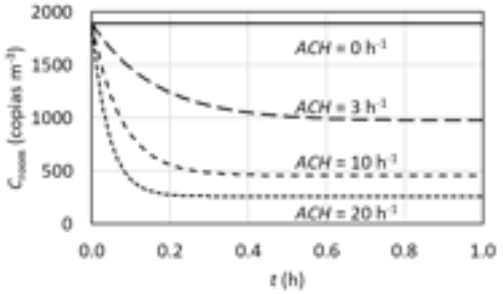


Figura 4. Evolución de la concentración viral en la habitación con pacientes a partir del momento en que se enciende el esterilizador.

La Fig. 5 muestra la concentración viral en la habitación en el estado estacionario, con pacientes y el equipo esterilizador encendido, en función de la velocidad de recambio de aire. Los valores sugeridos actualmente para ACH_{room} varían entre 10 y 40 h^{-1} para el caso en estudio (WHO, 2021a). En esas condiciones, la concentración viral en la sala es $C_{\text{room}} > 139$ copias m^{-3}. Esto es inaceptable porque es un valor muy por encima del valor máximo tolerable de 20 copias m^{-3}.

La Fig. 6 permite determinar el máximo tiempo de permanencia en la habitación sin riesgo de contagio en función de la concentración viral. Para las concentraciones estimadas, se tiene $MET < 1$ h. Nuevamente, como era de esperar, la situación es inaceptable si se evalúa con este criterio ya que el valor de MET está muy por debajo del valor requerido de 8 h.

Los resultados obtenidos muestran que el esquema de esterilización evaluado y las recomendaciones existentes no son suficiente para procesar adecuadamente las emisiones de los pacientes, lo que provoca que las condiciones en la habitación no sean seguras para las personas a cargo de la atención de los pacientes. Esta conclusión es válida independientemente de la tecnología empleada por el equipo esterilizador (filtración, calentamiento, ionización, radiación UV, entre otras).

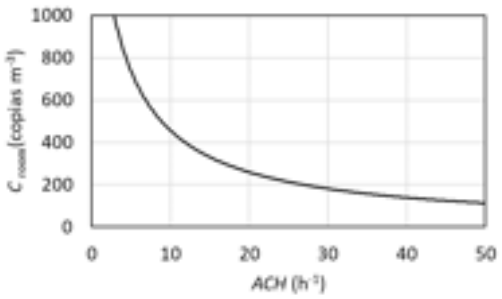


Figura 5. Concentración viral en la habitación con pacientes en el estado estacionario. El esterilizador está encendido.

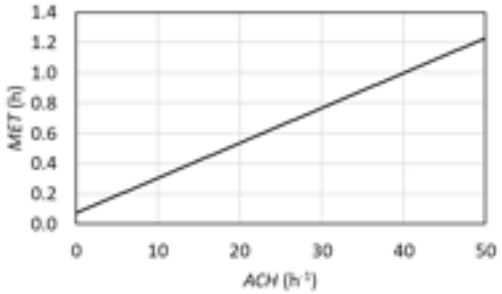


Figura 6. Máximo tiempo de exposición en la habitación con pacientes en el estado estacionario. El esterilizador está encendido.

3 TRATAMIENTO DESCENTRALIZADO

3.1 *Sistema*

Debido a que el tratamiento centralizado del aire de la sala es una opción ineficaz, en esta sección se propone y analiza el tratamiento descentralizado de las emisiones de cada paciente. Para ello, en cada cama, se instala una carpa para aislar al paciente (Fig. 7).

Las emisiones capturadas por las carpas son tratadas en forma descentralizada; es decir, se destina un equipo esterilizador exclusivo para cada carpa. El aire tratado es enviado al resto de la habitación, denominado *bulk* o simplemente habitación en adelante. De esta manera, en este sistema, existen dos zonas con aire contaminado: el interior de las carpas, con alta concentración viral, y el *bulk*, con concentración viral reducida por el sistema de tratamiento de aire y el sistema de ventilación (Fig. 8).

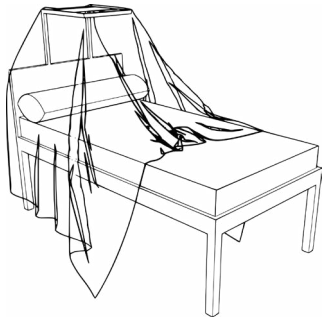


Figura 7. Carpa de aislamiento en una cama.

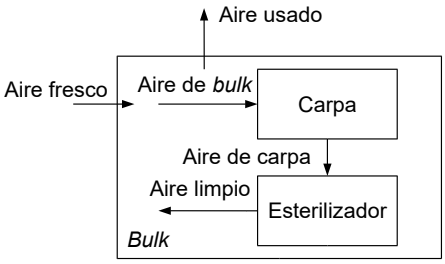


Figura 8. Sistema de tratamiento de aire descentralizado.

3.2 *Evaluación del sistema*

Para mantener niveles adecuados de oxígeno y anhídrido carbónico, se permite ingresar aire a las carpas desde la habitación. El aire de la habitación ingresa a cada carpa debido a la aspiración del equipo esterilizador. Por el mismo motivo, no hay riesgo de que el aire contaminado de la carpa salga hacia la habitación. Como en el caso anterior, las normas ASHRAE estipulan 25 pie^3 min^{-1} de aire fresco por cada paciente. Si además se supone que el volumen de aire dentro de cada carpa es V_{tent} = 2 m^3, se tiene que la renovación de aire en cada carpa debe ser $ACH_{tent} \geq 20$ h^{-1}. Por la misma norma, el flujo de aire que debe hacer circular el sistema de ventilación de la habitación sigue siendo F_{air} = 127 m^3 h^{-1}.

En estas condiciones, los balances del virus en cada carpa y en la habitación están dados por las siguientes ecuaciones:

$$V_{tent}\frac{dC_{tent}}{dt} = -V_{tent}\,ACH_{tent}\,C_{tent} + \gamma - V_{tent}\,k_d\,C_{tent} \quad (8)$$

$$V_{bulk}\frac{dC_{bulk}}{dt} = -F_{air}\,C_{bulk} + N_p\,V_{tent}\,ACH_{tent}\left(\frac{T_{out}}{T_{room}}f_e\,C_{tent} - C_{bulk}\right) - V_{bulk}\,k_d\,C_{bulk} \quad (9)$$

$$V_{bulk} = V_{room} - N_p\,V_{tent} \quad (10)$$

$$C_{out} = f_e\,C_{tent} \quad (11)$$

donde C_{tent} es la concentración viral en cada carpa, C_{bulk} es la concentración en el la habitación y V_{bulk} es el volumen libre de la habitación. En el planteo de los balances, se considera que el aire fresco no contiene virus y que, debido a la acción del equipo esterilizador y del sistema de ventilación, $C_{bulk} << C_{tent}$.
Las ecuaciones planteadas tienen la siguiente solución analítica:

$$C_{tent} = \frac{a}{b} + \left(C^0_{tent} - \frac{a}{b} \right) e^{-bt} \quad (12)$$

$$C_{bulk} = \frac{a\,c}{b\,d} + \frac{c\,C^0_{tent} - \frac{a\,c}{b}}{d-b} e^{-bt} + \left(C^0_{bulk} - \frac{c\,C^0_{tent} - \frac{a\,c}{d}}{d-b} \right) e^{-d\,t} \quad (13)$$

$$a = \frac{\gamma}{V_{tent}} \quad (14)$$

$$b = ACH_{tent} + k_d \quad (15)$$

$$c = N_p \frac{V_{tent}}{V_{bulk}} ACH_{tent} \frac{T_{out}}{T_{room}} f_e \quad (16)$$

$$d = \frac{F_{air}}{V_{bulk}} + N_p \frac{V_{tent}}{V_{bulk}} ACH_{tent} + k_d \quad (17)$$

La Fig. 9 describe la evolución de la concentración viral en una carpa a partir del momento en que ingresa el paciente. El equipo esterilizador está encendido desde el inicio. Los valores adoptados para los parámetros de esta alternativa son los siguientes: V_{room} = 50 m^3, V_{tent} = 2 m^3, N_p = 3, $\gamma = 1.00\times10^5$ copias h^{-1}, $k_d = 0.63$ h^{-1}, $T_{room} = 298.15$ K, $T_{out} = 313.15$ K, $f_e = 0.001$ y $F_{air} = 127$ m^3 h^{-1}.

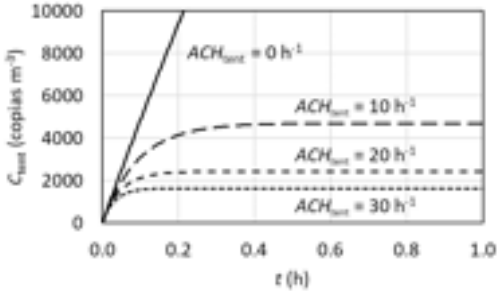


Figura 9. Evolución de la concentración viral en una carpa a partir del momento en que ingresa el paciente. El esterilizador se enciende al inicio.

La Fig. 10 presenta la evolución de la concentración viral en la habitación para las mismas condiciones. El sistema completo alcanza el estado estacionario en menos de 1 h para ACH_{tent} > 20 h^{-1}. En este estado, ya es posible observar que la concentración en la habitación es tres órdenes de magnitud menor a la concentración presente en cada carpa, y es dos órdenes de magnitud menor al valor obtenido para el caso de tratamiento centralizado.

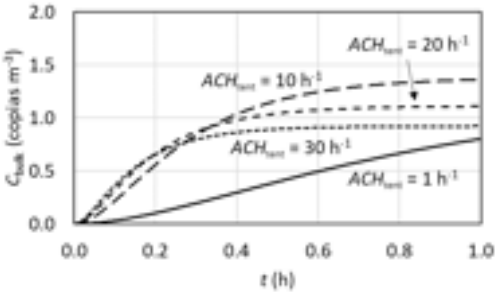


Figura 10. Evolución de la concentración viral en la habitación a partir del momento en que ingresan los pacientes. El esterilizador se enciende al inicio.

La Fig. 11 y la Fig. 12 exhiben la concentración viral en las carpas y en la habitación, respectivamente, en el estado estacionario alcanzado para diferentes velocidades de recambio de aire en las carpas. Se puede observar que la concentración en las carpas es independiente de f_e, mientras que la concentración en la habitación es altamente sensible a ese parámetro del equipo esterilizador.

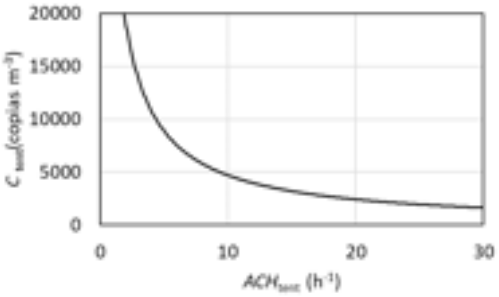


Figura 11. Concentración viral en una carpa en el estado estacionario.

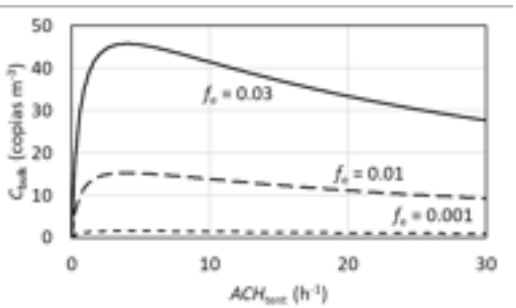


Figura 12. Concentración viral en la habitación en el estado estacionario.

La Fig. 13 explicita los correspondientes tiempos máximos de exposición. Se puede apreciar que, para

f_e = 0.01 y ACH_{tent} = 20 h^{-1}, se obtiene MET = 12.6 h, un valor por encima de las 8 h requeridas. El citado valor del factor de esterilización es fácilmente obtenible con cualquier tecnología. Por otra parte, la velocidad de recambio de aire de las carpas coincide con la velocidad mínima demandada por la necesidad de ventilación, así que tampoco representa un problema técnico para implementar la alternativa que se propone en este trabajo. Por último, el tratamiento centralizado, ni aun con ACH_{room} = 40 h^{-1}, equivalente a un flujo de aire de 2000 m^3 h^{-1}, logra un tratamiento eficaz. En cambio, el tratamiento descentralizado, sí lo logra para ACH_{tent} = 20 h^{-1}, equivalente a un flujo total de aire de 40 m^3 h^{-1} por cada carpa, lo que produce un flujo total a tratar de sólo 120 m^3 h^{-1}. Por lo tanto, si bien la alternativa analizada emplea más equipos esterilizadores, el tamaño de los equipos es mucho menor que el requerido para la primera alternativa evaluada. Además, el costo y dificultad de instalación de las carpas de aislamiento son bajos. Por todo esto, se considera que la alternativa propuesta en este trabajo es factible y adecuada para ser implementada en instalaciones sanitarias.

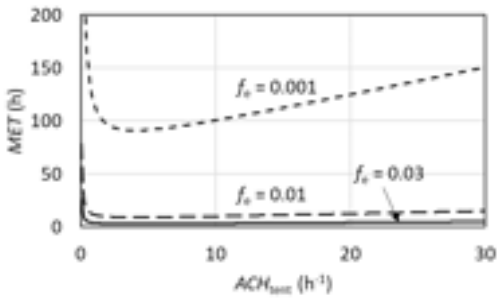


Figura 13. Máximo tiempo de exposición en la habitación.

4 CONCLUSIONES

En el presente trabajo, se evaluó la efectividad de las recomendaciones dadas por la OMS para el tratamiento del aire de salas destinadas a la internación de pacientes con COVID-19. Dado el alto riesgo que implica la realización de experiencias con el propio virus, el estudio se llevó a cabo empleando simulación. El modelo planteado fue resuelto en forma analítica. Como criterio de eficacia del tratamiento del aire, se adoptó al máximo tiempo de exposición durante el cual una persona puede permanecer en la sala sin riesgo para su salud.

Del análisis de los resultados, se concluye que el tratamiento centralizado del aire en las condiciones sugeridas por las recomendaciones vigentes no es lo suficientemente eficaz como para garantizar la salud del personal sanitario durante el tiempo que se supone estarán expuestos al virus, 8 h. Esta conclusión es válida independientemente de la tecnología empleada por el equipo esterilizador. Ante este escenario, en el presente trabajo, se propuso como una mejor alternativa el tratamiento descentralizado del aire. En este caso, se deben instalar carpas de aislamiento en las camas de los pacientes y se debe asignar un equipo esterilizador independiente para el tratamiento del aire de cada una de las carpas. La evaluación de esta alternativa mostró que el tratamiento del aire es lo suficientemente eficaz como para producir un máximo tiempo de exposición en la sala superior a las 8 h requeridas. Las carpas a emplear son de bajo costo y de fácil instalación. El tamaño de los equipos esterilizadores asignados a las carpas es mucho menor que el requerido en la alternativa centralizada. Por todo lo planteado, se concluye que la alternativa propuesta en este trabajo es eficaz y factible.

5 REFERENCIAS

3M, *Respiratory protection for airborne exposures to biohazards* (Technical Data Bulletin N.º 174; pp. 1-10), 3M, 2020.

Chaudhuri, S., S. Basu, A. Saha, Analyzing the dominant SARS-CoV-2 transmission routes toward an ab initio disease spread model, *Physics of Fluids*, *32*(12), 2020.

Elsworth, R., R. C. Telling, J. W. S. Ford, Sterilization of air by heat, *The Journal of Hygiene*, *53*(4), 445-457, 1955.

Hussein, T., A. Hruška, P. Dohányosová, L. Džumbová, J. Hemerka, M. Kulmala, J. Smolík, Deposition rates on smooth surfaces and coagulation of aerosol particles inside a test chamber, *Atmospheric Environment*, *43*(4), 905-914, 2009.

Kern, G., M. Krishnan, Virus removal by filtration: Points to consider, *BioPharm International*, *19*(10), 2006.

Lelieveld, J., F. Helleis, S. Borrmann, Y. Cheng, F. Drewnick,, G. Haug, T. Klimach, J. Sciare, H. Su, U. Pöschl, Model Calculations of Aerosol Transmission and Infection Risk of COVID-19 in Indoor Environments, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(21), 18, 2020.

OMS. *Vías de transmisión del virus de la COVID-19: Repercusiones para las recomendaciones relativas a las precauciones en materia de prevención y control de las infecciones*, Organización Mundial de la Salud, 2020.

Riediker, M., T.-H. Tsai, Estimation of viral aerosol emissions from simulated individuals with asymptomatic to moderate coronavirus disease 2019, *JAMA Network Open*, *3*(7), 10, 2020.

Schröder, I., COVID-19: A Risk Assessment Perspective. *ACS Chemical Health & Safety*, *27*(3), 160-169, 2020.

Tarifa, E. E., S. L. Martínez, C. R. Vera, Diseño

de un equipo esterilizador eficiente de aire, *Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA*, *6*, 647-654, 2020.

Watanabe, T., T. A. Bartrand, M. H. Weir, T. Omura, C. N. Haas, Development of a dose-response model for SARS coronavirus. *Risk Analysis: An Official Publication of the Society for Risk Analysis*, *30*(7), 1129-1138, 2010.

WHO, *Roadmap to improve and ensure good indoor ventilation in the context of COVID-19*, WHO, 2021a.

WHO, *Coronavirus disease (COVID-19): How is it transmitted?*, WHO, 2021b.