

Ciencia de Datos aplicadas en la ganadería de precisión en Catamarca

Paola I. Beltramini, Ivanna M. Lazarte, Marcos D. Aranda, Jesús E. Cano, Luis D. Villagran,
Sergio H. Gallina
pbeltramini@tecno.unca.edu.ar, ilazarte@tecno.unca.edu.ar, maranda@tecno.unca.edu.ar,
jecano@tecno.unca.edu.ar, sgallina@tecno.unca.edu.ar

Resumen

Las transformaciones tecnológicas ocurridas a lo largo de los últimos años en distintas áreas del conocimiento condujeron a la formación de un nuevo paradigma tecnoproductivo de aplicación en la agroindustria dando lugar a la llamada Agricultura y Ganadería de Precisión, o Agro 4.0. En Argentina esta transformación permitió el surgimiento y desarrollo de nuevas empresas dedicadas a la inclusión de tecnologías en este sector. Sin embargo, esta tecnología aún no es de aplicación masiva en la provincia de Catamarca. En el presente artículo se comparte el trabajo que viene realizando un grupo de investigación de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca, abocado al desarrollo e implementación de una solución tecnológica integral para el monitoreo y análisis de información en el sector ganadero, utilizando tecnologías IoT y Ciencia de Datos. El objetivo de este trabajo es mostrar los resultados de la aplicación de técnicas de la Ciencia de Datos para extraer información valiosa de sensores autónomos que impulsarán la toma de decisiones estratégicas en la producción agropecuaria.

Introducción

La revolución impulsada por las tecnologías 4.0 está transformando rápidamente una amplia gama de sectores económicos a nivel global. Este paradigma emergente se basa en la convergencia de tecnologías de propósito general, como la inteligencia artificial, el big data, la Ciencia de Datos, el Internet de las Cosas (IoT), entre otras, que tienen el potencial de modificar fundamentalmente la forma en que se realizan diversas tareas productivas, tanto rutinarias como no rutinarias, cognitivas o manuales. Este cambio disruptivo, que afecta a múltiples sectores económicos, ha llegado también a las actividades productivas de base biológica.

La aplicación de estas tecnologías emergentes a las diversas cadenas y eslabones productivos se conoce como Agricultura y Ganadería de Precisión, o Agro 4.0. Este paradigma no sólo promueve una transformación digital en

los distintos procesos, sino que también tiene un impacto directo en la manera en que se toman las decisiones. Como se destaca en [5] el impacto socioeconómico de este nuevo paradigma no solo dependerá de la capacidad de adopción por parte de los actores tradicionalmente involucrados en la agricultura y la ganadería, sino también del papel que el país pueda desempeñar en el desarrollo de estas tecnologías emergentes. Se requieren esfuerzos continuos en la construcción de capacidades tecnológicas y empresariales por parte de los diversos actores que componen el ecosistema. Esto demanda la colaboración y coordinación entre el sector público y privado para abordar los desafíos que presenta este nuevo paradigma.

Como expresa Balzarini en [4], el avance tecnológico en herramientas como los sensores de proximidad y remotos, la IoT, la robótica y las telecomunicaciones han provocado una transformación significativa en la generación de datos en el sector agropecuario. En la actualidad, se produce una gran cantidad de datos de forma automatizada, lo cual representa un logro de gran utilidad tanto para la ganadería como para la agricultura digital. Es por esto que se puede afirmar que la agricultura y ganadería de precisión ya no se basan únicamente en el uso de maquinarias, sino del desarrollo de métodos que faciliten la interpretación, es decir, del campo de la Ciencia de Datos [4].

En Argentina existen esfuerzos de diversos actores del sistema de ciencia y tecnología y del sector privado que impulsan el desarrollo de hardware y software para aportar soluciones al sector ganadero. Sin embargo, en provincias del Noroeste Argentino (NOA), principalmente en la provincia de Catamarca, estas tecnologías no se han difundido o aplicado en forma masiva en los sectores productivos primarios como son la agricultura y la ganadería debido, en parte, a la falta de dispositivos y componentes a un costo accesible, la falta de operadores y personal de mantenimiento.

En línea con lo expresado, se presentan los avances de un proyecto multidisciplinario, integrado por docentes investigadores de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca (UNCA), que combina áreas como la electrónica, la informática, el IoT, la Ciencia de Datos y las ciencias agropecuarias, para una producción ganadera más eficiente y sostenible. El objetivo del trabajo es mostrar los

resultados de la aplicación de técnicas de la ciencia de datos para extraer información valiosa de sensores autónomos que impulsarán la toma de decisiones estratégicas en la producción agropecuaria.

Relevancia del problema

La ganadería ha sido durante mucho tiempo un pilar fundamental de la economía en las regiones del NOA. Sin embargo, esta industria, al igual que muchas otras, se encuentra en un punto de inflexión en la era digital. La transformación digital, impulsada por tecnologías como la IoT y la Ciencia de Datos, tiene el potencial de brindar mejoras significativas en la producción y la sostenibilidad del sector ganadero de la provincia de Catamarca, al mismo tiempo que abre nuevas oportunidades para el desarrollo económico en la región.

En este contexto, diversos autores [2, 5, 6, 9] coinciden en que la aplicación de la Ciencia de Datos desempeña un papel esencial en la transformación de la ganadería en la era del Agro 4.0. Proporciona herramientas y métodos indispensables para aprovechar al máximo la gran cantidad de datos generados en este sector. Esto, a su vez, conduce a una producción más eficiente, sostenible y competitiva en el NOA, garantizando la viabilidad continua de esta industria clave en la región.

Se puede afirmar que la Ciencia de Datos aplicada en la ganadería de precisión se presenta como una solución estratégica que aborda varios problemas clave y brinda beneficios significativos a nivel económico, social y ambiental, algunos de los cuales se describen a continuación:

- Aumento de la Productividad Ganadera: La región del NOA se caracteriza por tener sistemas de producción ganadera extensiva, que a menudo se enfrentan a desafíos de baja productividad. La aplicación de técnicas de Ciencia de Datos permite optimizar la gestión de recursos como el pasto, el agua y los suplementos alimenticios, lo que conduce a un aumento significativo en la producción de carne y leche por cabeza de ganado.
- Sostenibilidad Ambiental: La gestión sostenible de los recursos naturales es esencial en una región donde la disponibilidad de agua y pasto puede ser limitada. La Ciencia de Datos ayuda a monitorear y gestionar de manera eficiente el uso de estos recursos, reduciendo la presión sobre el medio ambiente y contribuyendo a la conservación de los ecosistemas locales.
- Bienestar Animal: La salud y el bienestar del ganado son preocupaciones importantes. La implementación de sensores y dispositivos de monitoreo permite detectar tempranamente enfermedades, lesiones o estrés en los animales, lo que mejora su calidad de vida y reduce las pérdidas económicas [16].
- Toma de Decisiones Informadas: La toma de decisiones basada en datos es esencial para la gestión eficiente de una explotación ganadera. La Ciencia de

Datos proporciona información objetiva y precisa sobre el estado del ganado, las condiciones ambientales y otros factores relevantes, lo que ayuda a los productores a tomar decisiones informadas y estratégicas.

- Competitividad en el Mercado: La adopción de tecnologías avanzadas, como las herramientas de Ciencia de Datos, aumenta la competitividad de los productores ganaderos en el mercado nacional e internacional. Permite la producción de productos ganaderos de alta calidad y trazabilidad, lo que atrae a los consumidores y aumenta las oportunidades comerciales.
- Innovación y Desarrollo Tecnológico: La implementación de soluciones de Ciencia de Datos en la ganadería promueve la innovación y el desarrollo tecnológico en la región del NOA. Fomenta la colaboración entre instituciones educativas, organismos de investigación y empresas locales, lo que impulsa la economía y la creación de empleo en la región.

En Latinoamérica, y especialmente en Argentina, son escasas las soluciones disponibles en este ámbito. La modernización y adopción de nuevas tecnologías suponen un reto significativo para los pequeños y medianos productores, debido a la necesidad de una inversión considerable, habilidades técnicas limitadas y la expectativa de obtener retornos rápidos.

Aunque la tecnología ha transformado las zonas rurales, aún hay un largo camino por recorrer para encontrar aplicaciones y modelos de negocio que faciliten la adopción del IoT y la Ciencia de Datos en la agroindustria de menor escala.

Materiales y Métodos

Los resultados que se exponen en el presente artículo surgen del trabajo multidisciplinario que viene realizando el grupo de investigadores [1][7]. La etapa que se describe se encuentra en ejecución y se enfoca en el desarrollo de un sistema de información integral que aplica las herramientas de Ciencia de Datos para el monitoreo y análisis de datos ganaderos, lo cual permitirá identificar patrones, tendencias y posibles problemas en la producción ganadera. Concluido el desarrollo del proyecto se podrá poner a disposición del sector ganadero de la provincia de Catamarca una propuesta integral para llevar a cabo la implementación en condiciones reales, lo que abrirá nuevas oportunidades para la mejora de la producción agropecuaria en estas áreas.

El proceso aplicado a la ganadería de precisión en regiones del NOA se basa en lo propuesto por [6] y se resume en el diagrama de la Figura 1. El proceso se inicia con la captura y almacenamiento de datos que provienen de diferentes sensores (geolocalización, temperatura, humedad, etc.), le sigue el procesamiento de los datos recolectados para convertirlos en información de interés, posteriormente, la aplicación de técnicas y herramientas de

la ciencia de datos y/o de la computación para generar patrones que aporten a la toma de decisiones del productor y por último se encuentran las tareas vinculadas a la aplicación de estas prescripciones.

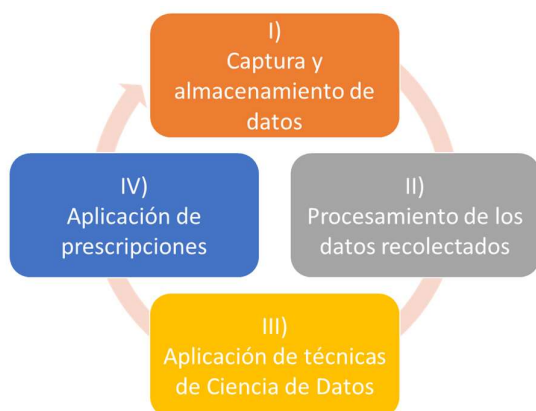


Figura 1: Proceso aplicado en el desarrollo

Cada una de las fases de este proceso requieren el uso de herramientas del IoT y la Ciencia de Datos, ya que facilitan la recopilación, procesamiento y análisis de datos en el ámbito de la ganadería de precisión.

Como herramienta de Ciencia de Datos en la etapa 3 del proceso de la figura 1, se utilizó *Python* [10] el cual es un lenguaje de programación de propósito general, desarrollado bajo una licencia de código abierto (administrada por Python Software Foundation), ampliamente utilizado en Ciencia de Datos debido a su versatilidad y una gran cantidad de bibliotecas especializadas. En la ganadería de precisión, Python se utiliza para el procesamiento de datos, análisis estadísticos y la creación de modelos de Machine Learning.

Para la realización de tareas específicas asociadas al análisis y procesamiento de los datos, se utilizaron las siguientes librerías:

Pandas [11]: Es una biblioteca de Python que proporciona estructuras de datos flexibles para el manejo y análisis de datos. Se utiliza para limpiar, transformar y analizar conjuntos de datos ganaderos, lo que facilita la extracción de información valiosa.

NumPy [12]: Es otra biblioteca fundamental para Python que se utiliza para realizar cálculos numéricos en Ciencia de Datos. En la ganadería de precisión, NumPy se emplea para operaciones matemáticas y el manejo eficiente de matrices y arreglos.

Matplotlib [13] y *Seaborn* [14]: Estas bibliotecas de visualización de datos permiten crear gráficos y visualizaciones informativas a partir de los datos ganaderos. Esto es esencial para comprender patrones y tendencias en la información recopilada.

Folium [15]: Es una biblioteca de Python que permite la representación y análisis efectivo de datos geoespaciales en mapas interactivos. Esto facilita la comprensión de la información y ayuda a los productores a tomar decisiones más acertadas para optimizar la producción ganadera en la región.

Resultados preliminares

En la Figura 2 se muestra un diagrama sintético de la descripción funcional del sistema que el grupo de investigación viene desarrollando.

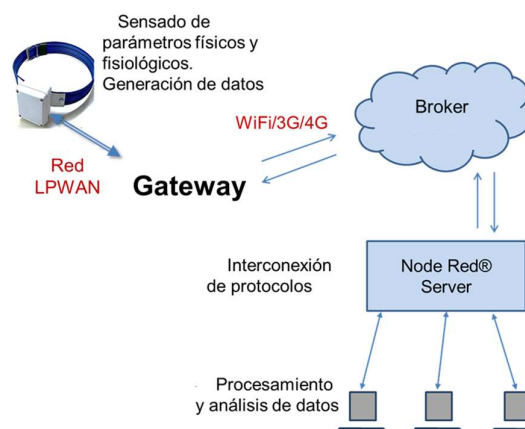


Figura 2: Diagrama de la descripción funcional del sistema

Actualmente, el equipo ha construido un primer prototipo con sensores de posicionamiento satelital, temperatura y humedad [1], se realizaron pruebas de funcionamiento en laboratorio y en el campo experimental del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) La Rioja-Catamarca (ver **Figura 3**) y se encuentra abocado a la transmisión inalámbrica de los datos y al desarrollo del sistema de información.



Figura 3: Pruebas de campo del primer prototipo

Los valores de las variables sensadas, se guardan en una memoria interna del dispositivo o pueden enviarse y almacenarse en una base de datos para su posterior procesamiento. En la Tabla 1 se muestra un ejemplo de la

información obtenida de un vacuno específico. Los datos registrados corresponden a la fecha y hora de la medición, temperatura ambiente y corporal, humedad, posición (latitud, longitud) y estado de la batería. A partir de estos datos, se pueden calcular patrones de desplazamiento tales como la distancia recorrida y la velocidad de desplazamiento del animal, frecuencia de uso de aguadas, hábitos de movimiento en manada, detectar problemas de salud, etc.

Tabla 1: Datos de sensado de un vacuno específico.

fecha	hora	t_Ambiente	t_Corporal	humedad	latitud	longitud	batería
15/6/2022	11:28	25.8	23.0	62	-30.008923	-65.858081	4.2
15/6/2022	11:39	26.2	23.9	61	-30.009322	-65.857552	4.2
15/6/2022	11:50	26.9	24.8	61	-30.009586	-65.852010	4.2
15/6/2022	12:00	28.2	25.0	62	-30.011763	-65.848608	4.2
15/6/2022	12:11	27.4	24.6	61	-30.012906	-65.846557	4.2

Mantener un historial de la tensión de la batería puede proporcionar datos valiosos para analizar tendencias y patrones de consumo de energía, como así también evitar la pérdida de información por agotamiento de la batería, programar su recarga o reemplazo, para garantizar el funcionamiento continuo del nodo y extender su vida útil, evitando que la misma se descargue completamente.

Tabla 2: Medidas descriptivas de las variables analizadas

	t_Ambiente	t_Corporal	humedad	batería
count	2.047	2.047	2.047	2.047
mean	18,22	15,10	57,29	3,70
std	6,65	5,71	2,73	0,18
min	3,30	2,10	49,00	3,50
25%	12,90	10,40	55,00	3,60
50%	18,10	14,10	58,00	3,60
75%	23,75	18,70	59,00	3,80
max	33,20	32,40	71,00	4,20

En la Tabla 2 se muestran las estadísticas descriptivas que ayudan a describir y comprender las características de un conjunto de datos seleccionados al ofrecer breves resúmenes.

La Figura 4 muestra el sistema de información (en desarrollo) que permite al usuario consultar un conjunto de datos (dataset), mostrarlos mediante una tabla, generar gráficos estadísticos y visualizar la ubicación georreferenciada del ganado.

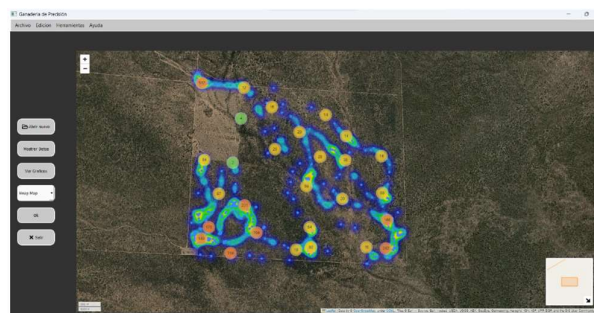


Figura 4: Sistema de información.

Los datos de ubicación (latitud y longitud) se muestran como un punto (marcador) en el mapa, y en un mapa de calor, el cual es una representación gráfica de la densidad de puntos de datos, como se agrupan o dispersan en diferentes áreas del campo. Los puntos de datos pueden superponerse y agruparse en áreas con alta densidad, representados mediante colores más intensos o cálidos en el mapa, como rojos o naranjas. Los colores más intensos indican que en esas áreas, los animales han recorrido esas zonas con más frecuencia o han permanecido más tiempo en ellas.

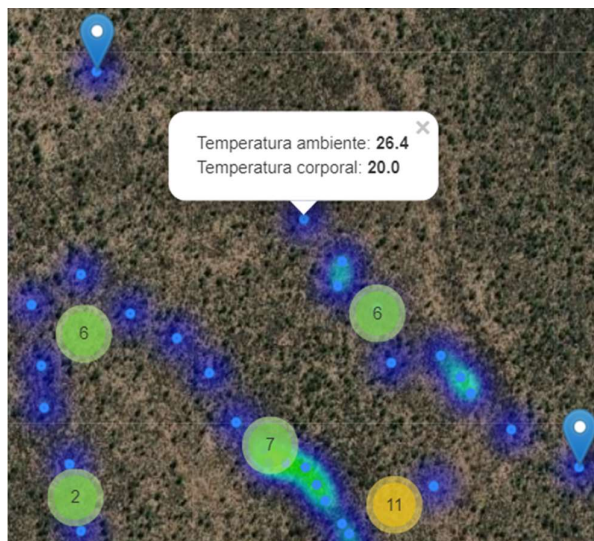


Figura 5: Información disponible en el mapa de calor

Se puede combinar la información de geolocalización del animal con la proveniente de los otros sensores (ver **Figura 5**) para visualizar de manera directa los datos recopilados en cada muestra.

Los mapas de calor son herramientas valiosas para los productores porque les ayudan a optimizar la distribución de los animales, supervisar la salud del ganado y tomar decisiones basadas en datos para mejorar la eficiencia y el bienestar de los animales. A continuación, se describen algunas razones por las cuales utilizar mapas de calor:

Monitoreo del pastoreo: ayudan a los ganaderos a supervisar la distribución del ganado en el pastizal. Esto es fundamental para evitar el sobrepastoreo en ciertas áreas y

garantizar que los animales tengan acceso equitativo a la comida.

Eficiencia en el uso del pastizal: permiten identificar patrones de pastores y tomar decisiones informadas sobre la rotación del pastizal y la gestión de parcelas, lo que contribuye a un uso más eficiente de los recursos naturales y puede aumentar la producción de forraje.

Detección de problemas de salud: revelan si hay un comportamiento anormal, como por ejemplo si un animal tiende a permanecer en un área específica del campo, lo cual podría indicar un problema de salud o lesión que requiere atención veterinaria.

Seguimiento de la reproducción: ayudan a identificar patrones de apareamiento, por ejemplo, si los toros o sementales tienden a pasar más tiempo en ciertas áreas, esto podría indicar la presencia de hembras en celo.

Prevención de pérdidas: permiten detectar si un animal se alejó del rebaño o cruzó una cerca virtual, lo que es útil para evitar pérdidas o robos de ganado.

Planificación de instalaciones: muestran las áreas más concurridas por el ganado, lo que facilita la ubicación óptima para la construcción o colocación de infraestructuras ganaderas, como bebederos o comederos.

Cumplimiento normativo: ayudar a garantizar el cumplimiento de regulaciones (si existen) sobre la densidad de ganado en ciertas áreas.

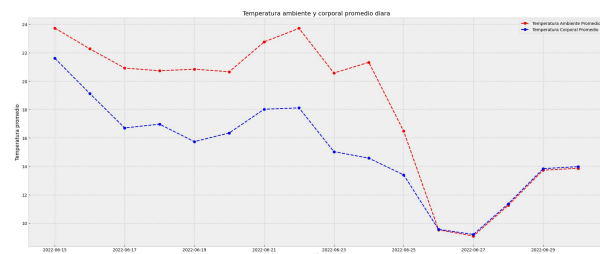


Figura 5: Promedios diarios de las temperaturas.

Mediante las librerías Matplotlib y Seaborn se generaron gráficos y visualizaciones personalizadas que muestran tendencias, valores atípicos, patrones y cambios en los datos ganaderos. En la Figura 5 se muestran los promedios diarios correspondientes a la temperatura ambiente (línea roja) y corporal del vacuno (línea azul). Al analizar la imagen se puede observar que hay un periodo en donde las dos líneas se superponen, lo que indica que los promedios de ambas temperaturas son iguales. Esta superposición puede ser indicativa de un problema en los sensores o en la recopilación de datos. Teniendo en cuenta esta información, se realizaron las correcciones necesarias en los sensores para mejorar la medición.

La importancia de recopilar datos de temperatura corporal del ganado es que, mediante su análisis, es posible identificar signos tempranos de enfermedades, como fiebre,

permitiendo un tratamiento rápido y reduciendo la propagación de enfermedades en el ganado [3].

Otros tipos de gráficos que se pueden realizar son los gráficos de cajas por grupo, en donde cada grupo podría representar un día y la variable a analizar sería la temperatura corporal del mismo vacuno, por ejemplo. También gráficos de dispersión para realizar análisis de la variables temperatura del animal versus temperatura ambiente (ver **Figura 6**), con estas técnicas se puede ayudar a la identificación de patrones sobre la salud de los animales, así como en la toma de decisiones relacionadas con su cuidado y bienestar.

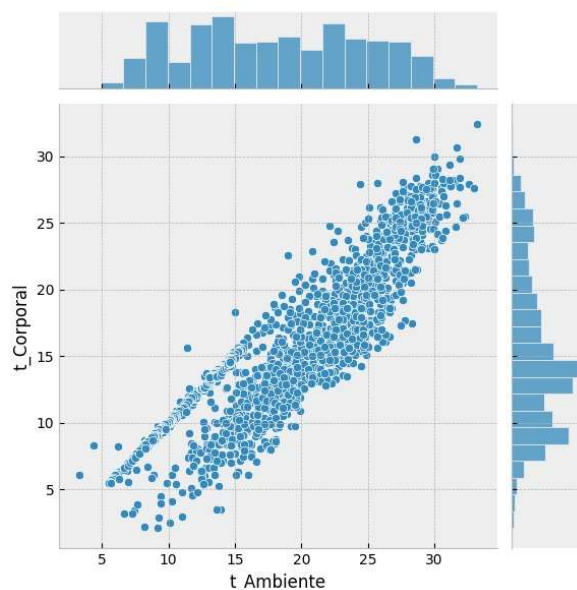


Figura 6: Relación de Temperatura del animal versus temperatura ambiente.

Conclusiones

La transformación digital está generando un profundo impacto en la gestión del sector agrícola-ganadero, dando lugar a lo que se conoce como agricultura y ganadería de precisión, o Agro 4.0. La convergencia de tecnologías como la geolocalización, la monitorización remota de variables, la interconexión de dispositivos a través del IoT y la Ciencia de Datos, ha abierto las puertas a la obtención de información precisa y objetiva. Esto representa un beneficio crucial para los productores al proporcionarles información esencial para la toma de decisiones informadas en un contexto global marcado por desafíos alimentarios y medioambientales.

En Argentina, especialmente en provincias del NOA como Catamarca, la implementación de estas tecnologías en diversas etapas de la actividad ganadera aún se encuentra en una etapa incipiente, pero se vislumbra que tendrá un impacto considerable en términos de eficiencia, sostenibilidad y competitividad en el sector. A pesar de los

esfuerzos de varios actores del sistema de ciencia y tecnología y del sector privado para impulsar el desarrollo de hardware y software destinado a ofrecer soluciones al sector ganadero, estas tecnologías no se han difundido ni aplicado de manera generalizada en los sectores productivos primarios. Esto se debe, en parte, a la escasez de dispositivos y componentes asequibles, así como a la falta de operadores y personal de mantenimiento capacitado en estas áreas.

Si bien el grupo de investigación se encuentra en una etapa inicial de desarrollo, es evidente que la implementación de técnicas y herramientas de la Ciencia de Datos es factible y promisorio. Se resalta la necesidad de actualizar el hardware utilizado, incorporando sensores de mayor rendimiento para garantizar la confiabilidad de los datos, a pesar de los desafíos y costos adicionales asociados con la adquisición de estos dispositivos en el mercado local.

En cuanto a futuros trabajos, se planea profundizar en el estudio de nuevas técnicas que permitan detectar patrones específicos adaptados a las necesidades de los productores ganaderos catamarqueños. Además, se buscará dotar al sistema de la capacidad de realizar un seguimiento y análisis en tiempo real de la información, lo que promete mejorar aún más la eficacia y la utilidad de esta herramienta tecnológica en el sector. Estas iniciativas reflejan el compromiso continuo del grupo de investigación con la innovación y el desarrollo sostenible en la ganadería del NOA.

Agradecimientos

Queremos agradecer al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) por su apoyo continuo y colaboración en este proyecto de investigación. El INTA desempeña un papel fundamental en el avance y la promoción de la tecnología en el sector agropecuario de Argentina, y su respaldo ha sido invaluable para llevar a cabo este estudio.

Referencias

- [1] Aranda M.; Beltramini P.; Cano J.E.; Villagrán L. D.; Moreno J. P.; Gallina S. H.; Herrera Conegliano O.. "IoT aplicado a la ganadería extensiva" Revista Argentina de Ingeniería (Radi), Argentina, Mayo 2021,. 9(17):106-113. Disponible en: <https://confedi.org.ar/iot-aplicado-a-la-ganaderia-extensiva/>.
- [2] Baum, G., Artopoulos, A., Aguerre, C., Albornoz, I., & Robert, V. (2009). "Libro blanco de la prospectiva tic: proyecto 2020". - 1a ed. - Buenos Aires: Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, Argentina. ISBN 978-987-1632-00-8.
- [3] Diario digital CONtexto ganadero. Bogotá, Colombia. "Es necesario controlar la temperatura de los animales". Disponible en: <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/es-necesario-controlar-la-temperatura-de-los-animales>
- [4] El rol de la inteligencia de datos en los sistemas productivos sustentables. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/noticias/el-rol-de-la->

[inteligencia-de-datos-en-los-sistemas-productivos-sustentables.](#), Septiembre 2023

- [5] Lachman, J., Braude, H., Monzón, J., López, S., & Gómez-Roca, S. "El potencial del agro 4.0 en Argentina, Diagnóstico y propuestas de políticas públicas para su promoción". Ministerio de Desarrollo Productivo, Argentina Productiva, 2030. Julio 2022. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2021/03/28_-_agtech_-_argentina_productiva_2030.pdf
- [6] Lachman J., López A., "Innovación, habilidades y nuevas áreas de conocimiento en sectores tecnológicos emergentes: el caso de la Agricultura y Ganadería de Precisión", Revista Pymes, Innovación y Desarrollo - 2018, Vol. 6, No. 3, pp. 60-85
- [7] Lazarte, I.M.; Beltramini, P.I.; Gallina, S.H.; Aranda, M.D.. "Hacia la implementación de un prototipo para la aplicación de IoT y Ciencia de Datos en la Actividad Agropecuaria Sostenible". Argentina. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. 2022. Libro. Artículo Completo. Congreso. 10° CoNaII SI 2022. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay.
- [8] Ramírez-Morales, I. & Mazon-Olivo, B. "Análisis de Datos Agropecuarios". (2018). Colección REDES. 302 pag. ISBN: 978-9942-24-120-7
- [9] Soto, J. P. T., Suárez, J. D. L. S. S., Rodríguez, A. B., & Cainaba, G. O. R. (2019). "Internet de las cosas aplicado a la agricultura: estado actual". Lámpsakos, (22), 86-105.
- [10] Página oficial de Python. Accedido el 13 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.python.org/>
- [11] Página oficial de Pandas. Accedido el 13 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://pandas.pydata.org/>
- [12] Página oficial de NumPy. Accedido el 13 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://numpy.org/>
- [13] Página oficial de Matplotlib. Accedido el 13 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://matplotlib.org/>
- [14] Página oficial de Seaborn. Accedido el 13 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://seaborn.pydata.org/>
- [15] Página oficial de Folium. Accedido el 13 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://pypi.org/project/folium/>
- [16] Navarro J., de Diego I. M., Carballo Pérez P., Ortega F., "Outlier detection in animal multivariate trajectories, Computers and Electronics in Agriculture" Volume 190, 2021, 106401, ISSN 0168-1699,