

LIBRO DE RESÚMENES DEL 1er SIMPOSIO INTERNACIONAL DE GANADERÍA DE PRECISIÓN Y USO DE HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES

EN LA MEJORA DE LA COMPETITIVIDAD Y SOSTENIBILIDAD DE
LA ACTIVIDAD GANADERA EN EL PERÚ



Libro de resúmenes No. 1 (2025)
Lima, Perú
09 al 11 de octubre



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

**SIMPOSIO INTERNACIONAL DE GANADERÍA
DE PRECISIÓN Y USO DE HERRAMIENTAS
COMPUTACIONALES EN LA MEJORA DE LA
COMPETITIVIDAD Y SOSTENIBILIDAD DE LA
ACTIVIDAD GANADERA EN EL PERÚ**

09, 10 y 11 de Octubre del 2025

**LIBRO DE
RESUMENES DE
CONFERENCIAS Y POSTERS**

Octubre 2025

LIBRO DE RESÚMENES DE CONFERENCIAS Y PONENCIAS

Derechos Reservados

Primera Edición,

Octubre 2025

Publicado por: Universidad Nacional Agraria la Molina

Editores: Comité Organizador del Simposio

Av. La Molina s/n - La Molina

Tel: 614-7800

Lima, Perú

PONENCIAS

Monitoreo de la calidad de la leche: Composición y conteo células somáticas con ganadería de precisión

Ben Aernouts¹

¹Katholieke Universiteit Leuven
Livestock Technology group - Geel, Belgium

El precio de la leche pagado al productor está directamente influenciado por la concentración de sólidos totales (grasa, proteína, lactosa) y un conteo de células somáticas (CCS) bajo. La proteína es crucial por su impacto en la eficiencia en la elaboración de quesos. La grasa no solo añade valor, sino que su calidad depende de la composición de ácidos grasos y el tamaño del glóbulo graso, aspectos que pueden monitorearse con herramientas de precisión para optimizar el valor nutricional y las propiedades de procesamiento. El CCS, compuesto por células inmunes, se usa como un umbral diagnóstico: un conteo superior a 200.000 células/mL indica una potencial infección o inflamación, típicamente mastitis. El monitoreo preciso y frecuente del CCS es esencial, ya que un conteo alto perjudica la leche al reducir su vida útil y estabilidad térmica, y afecta negativamente las propiedades de coagulación y fermentación para la producción de queso y yogurt. El núcleo del monitoreo de precisión reside en que la leche es un "reflejo" del estado metabólico y nutricional de la vaca. El análisis de su composición permite la detección temprana de trastornos metabólicos antes de que se vuelvan clínicamente evidentes. Las herramientas de precisión se utilizan para detectar los siguientes biomarcadores en la leche:

1. Mastitis / Inflamación: El monitoreo detecta cambios en la permeabilidad de la ubre, evidenciados por un aumento de sodio y cloruro (componentes sanguíneos) y una disminución de lactosa y potasio.
2. Balance Energético Negativo (BEN): El uso de tecnología analítica identifica un aumento en el contenido de grasa y de cuerpos cetónicos (como el ácido beta-oxibutírico), junto con una disminución de la proteína láctea, lo que señala la movilización de reservas corporales.
3. Acidosis ruminal: Las mediciones de precisión detectan una disminución de la grasa láctea (Síndrome de caída de grasa), lo que alerta sobre problemas en la fermentación ruminal causados por un pH bajo.

El fin último de esta aplicación de la Ganadería de Precisión es transformar los datos brutos obtenidos por estas tecnologías avanzadas de medición en información accionable que respalde la toma de decisiones estratégicas por parte de los productores y veterinarios. El objetivo es utilizar la leche como una herramienta de diagnóstico, apoyándose en tecnologías modernas de medición para la toma de decisiones informadas, especialmente en pequeñas explotaciones lecheras.

Palabras clave: *ganadería de precisión, mastitis, bienestar animal*

Detección temprana de eventos reproductivos y control de la fertilidad

Ben Aernouts¹

¹Katholieke Universiteit Leuven
Livestock Technology group - Geel, Belgium

La fertilidad en el ganado lechero es fundamental ya que está directamente relacionada con la sostenibilidad y la eficiencia de las granjas. Ante el aumento proyectado del consumo mundial de productos lácteos (un 15% al 20% en la próxima década), la eficiencia productiva es clave para cumplir con la demanda y mitigar grandes desafíos de sostenibilidad, como la gestión del estiércol y los gases de efecto invernadero. La mala reproducción es una de las principales causas del sacrificio y reemplazo involuntario de vacas. Por otro lado, la mejora en la estrategia reproductiva se traduce en un aumento del beneficio económico. El reto se agrava porque la fertilidad es un rasgo complejo que resulta de la interacción de la salud, la producción y el manejo del animal. La longevidad del ganado es crítica, puesto que el máximo potencial de producción se alcanza generalmente entre la cuarta y quinta lactancia. Sin embargo, las tasas de reemplazo actuales, que rondan el 30%, están muy por encima de la tasa óptima del 15% al 20% necesaria para maximizar la mejora genética. Reducir la alta necesidad de novillas de reemplazo es un pilar de la sostenibilidad, ya que estas novillas representan una "enorme presión" sobre el sistema durante aproximadamente dos años, tiempo durante el cual consumen alimento y producen gases de efecto invernadero y estiércol sin producir resultados útiles. El aumento en el tamaño de las granjas y la producción por vaca hace que la observación visual tradicional (ej. detección de celo) sea cada vez más difícil e ineficiente. Por ello, el sector se apoya cada vez más en herramientas de precisión para convertir los datos frecuentes y precisos recolectados en información útil para la toma de decisiones. Entre las herramientas de apoyo se incluyen los métodos automáticos y biomarcadores. La investigación se ha centrado en la detección de glicoproteínas asociadas al embarazo (PAGs). Estas glicoproteínas, que pueden ser detectadas en el plasma sanguíneo y, lo que es crucial, en la leche, sirven como una herramienta de cribado de embarazo automatizada. Los kits de análisis (como el kit Eliza) pueden combinarse con los registros de producción de leche, permitiendo al ganadero obtener resultados de gestación a partir de los 30 a 35 días después de la inseminación, sin tener que examinar físicamente a la vaca. La combinación de diversas fuentes de datos (ej. detección de PAGs con grabación de leche) es esencial para aumentar la precisión de las conclusiones derivadas y, por ende, el éxito de la estrategia reproductiva.

Palabras clave: ganadería de precisión, mejora reproductiva, control fertilidad

AI Meets Livestock: Local Innovations in Smart Animal Farming in Peru

La IA responde a la ganadería : innovaciones en la crianza inteligente de animales en Perú

Hugo Alatrista-Salas¹

¹Pôle Universitaire Léonard de Vinci

La incorporación de la Inteligencia Artificial (IA) en la agricultura y ganadería está transformando los sistemas productivos tradicionales en entornos inteligentes, sostenibles y altamente eficientes. En el ámbito del Smart Farming, la IA permite automatizar tareas críticas dentro de los establos, como la detección temprana de enfermedades, el control del bienestar animal o la estimación automática de parámetros productivos, contribuyendo a una gestión más precisa, preventiva y basada en datos. El desarrollo de este tipo de soluciones tecnológicas requiere la conformación de equipos pluridisciplinarios, integrados por ingenieros informáticos, profesionales agropecuarios, gestores de proyectos, diseñadores industriales, entre otros, cuya colaboración resulta esencial para adaptar los avances en visión computacional, sensores inteligentes y aprendizaje automático a las necesidades reales del campo. Cabe recalcar que estos proyectos no serían posibles sin el apoyo financiero de organismos públicos y del sector privado, cuya inversión en investigación aplicada impulsa la innovación y la transferencia tecnológica hacia el sector agropecuario. Durante mi presentación, describo tres iniciativas que aplican la Inteligencia Artificial en el ámbito agropecuario orientados a la automatización y optimización de procesos productivos. Primeramente, el Mobilscopio, que es un proyecto que integra un captor de imágenes portátil acoplado a un minicomputador, diseñado para la detección temprana de mastitis en el ganado vacuno mediante el uso de técnicas de visión computacional y análisis inteligente de imágenes. De manera similar, el proyecto de estimación automática del índice corporal del ganado vacuno propone una aplicación móvil que combina algoritmos de visión por computadora y aprendizaje de máquinas, permitiendo evaluar de manera no invasiva el estado corporal del ganado vacuno, con el fin de mejorar la gestión nutricional y reproductiva. Finalmente, el Fibroscopio constituye un equipo portátil y de bajo costo que, a partir de un captor de imágenes conectado a un minicomputador y un modelo de aprendizaje profundo, permite la identificación automática de fibras textiles en cuatro categorías —alpaca, ovino, algodón y sintéticos—, facilitando la clasificación de materiales en la industria textil rural y promoviendo la incorporación de herramientas inteligentes en toda la cadena de valor de los textiles. En conjunto, estos proyectos demuestran cómo la IA puede integrarse de manera práctica en el ámbito agropecuario, ofreciendo herramientas portátiles, accesibles y automatizadas que fortalecen la toma de decisiones, mejoran el bienestar animal y promueven una producción más sostenible e inteligente.

Palabras clave: *smart farming, inteligencia artificial, sostenibilidad*

Estrategias y tecnologías de precisión en el manejo de la alimentación para la mejora de las ganancias, salud y performance reproductivo en granjas lecheras

Víctor E. Cabrera¹

¹University of Wisconsin–Madison

La producción lechera moderna enfrenta el desafío de equilibrar rentabilidad, salud animal y sostenibilidad ambiental. En esta exposición se presentaron enfoques innovadores basados en integración de datos, modelación predictiva y herramientas de apoyo a la toma de decisiones que permiten optimizar la alimentación, mejorar la salud del hato y potenciar la eficiencia reproductiva. Uno de los ejes centrales fue la iniciativa Dairy Brain (DairyBrain.wisc.edu), un marco conceptual para integrar flujos de datos en tiempo real de diversas fuentes (sensores, ordeño, alimentación, registros DHI, genética, economía, cultivos). A través de un ecosistema de datos lácteos y un centro de datos agrícolas, esta plataforma busca armonizar, procesar y devolver a los productores información procesable en paneles interactivos, facilitando tanto el análisis descriptivo como el predictivo y prescriptivo. Se presentó un caso de estudio en una explotación comercial de 2.374 vacas Holstein en Wisconsin, donde la reformulación dinámica de dietas basada en necesidades reales del hato mostró beneficios económicos y ambientales significativos. Con el uso de algoritmos de agrupación nutricional y reformulación continua, se estimó una ganancia de 202 US\$/vaca/año, reducción de excreción de nitrógeno en 75 kg/vaca/año y menores emisiones de gases de efecto invernadero. Estos resultados evidencian el potencial de la nutrición de precisión no solo en términos productivos, sino también en salud y sostenibilidad. Asimismo, se presentaron avances en aplicaciones de inteligencia artificial para la gestión del hato. Ejemplos incluyen la detección de cojeras mediante visión por computadora, la predicción de mastitis clínica con algoritmos de aprendizaje automático (Naïve Bayes, Random Forest, Gradient Boosting), y la evaluación del impacto de las afinidades sociales entre vacas sobre la productividad. También se mostraron desarrollos en predicción de curvas de lactancia individuales y en la integración de datos heterogéneos utilizando técnicas de lenguaje natural y modelos de gran escala. Finalmente, se destacó el modelo RuFaS (Ruminant Farm Systems), un gemelo digital de sistemas lecheros completos que permite simular interacciones entre nutrición, reproducción, genética, salud y medioambiente. RuFaS constituye una herramienta para evaluar escenarios de manejo y políticas, y abre la puerta a estrategias más resilientes y climáticamente inteligentes. En conclusión, la charla enfatizó que la integración de datos en tiempo real, la aplicación de modelos predictivos y el uso de herramientas digitales prescriptivas son componentes claves para transformar la producción lechera. Estas innovaciones permiten a los productores mejorar la rentabilidad, reducir impactos ambientales y optimizar el bienestar animal, configurando una visión de la lechería de precisión como motor de la agricultura sostenible del futuro.

Palabras clave: ganadería de precisión, gemelo digital, manejo integral, sostenibilidad

Uso de herramientas para soporte de decisiones de manejo en ganadería lechera

Víctor E. Cabrera, Ph.D.

University of Wisconsin–Madison

La complejidad y el dinamismo de los sistemas lecheros modernos requieren soluciones prácticas y científicamente validadas que apoyen la toma de decisiones en tiempo real. Esta exposición presentó y demostró el uso de herramientas de soporte a decisiones (DST) desarrolladas y disponibles en la plataforma DairyMGT.info, la colección más completa de su tipo en el ámbito lechero. El objetivo central es ofrecer a productores, asesores y técnicos herramientas fáciles de usar, específicas para cada explotación, capaces de generar recomendaciones rápidas, acciones concretas y mensajes claros que guíen el manejo diario. Estas aplicaciones se basan en principios sólidos de investigación y modelación, pero están diseñadas para ser accesibles y prácticas en el contexto de la producción lechera. Durante la presentación se destacaron ejemplos de herramientas críticas:

- FeedVal (v6 y v7): Calcula el valor económico real de los ingredientes de los piensos, considerando su composición nutricional y precios de mercado. Permite evaluar rápida y objetivamente sustituciones o ajustes en las dietas, mejorando la rentabilidad de la alimentación.
- Ajustador de curvas de lactancia: Proyecta la producción de leche de un hato y permite evaluar impactos de diferentes escenarios, incluyendo perturbaciones de la curva debidas a cambios de manejo o eventos de salud.
- Control de calidad de leche a través de SCC del tanque: Estima las pérdidas económicas asociadas a células somáticas elevadas y explora alternativas de manejo para mejorar la calidad y el valor de la leche.
- DairyPrint Model: Un simulador interactivo de granja completa que integra sostenibilidad ambiental y economía, facilitando la evaluación de prácticas de manejo que reduzcan emisiones de gases de efecto invernadero y mejoren la eficiencia en el uso de recursos.

Cada demostración resaltó cómo pequeños ajustes basados en datos pueden traducirse en impactos significativos en rentabilidad, eficiencia y sostenibilidad. Además, se subrayó la importancia de involucrar al productor y al equipo de la explotación en todo el proceso de toma de decisiones, asegurando que las recomendaciones no solo sean técnicamente correctas, sino también viables en la práctica. En conclusión, la exposición mostró que la digitalización y el acceso a herramientas abiertas como las de DairyMGT.info constituyen un puente entre investigación y aplicación práctica. Estos sistemas de apoyo a la decisión no reemplazan la experiencia del productor ni del asesor, sino que los potencian con información objetiva y cuantificada, contribuyendo a mejorar la productividad, la salud del hato y la sostenibilidad de la lechería del futuro.

Palabras clave: manejo de datos, plataforma DairyMGT

Optimización de procesos con Process Mining: caso ganadero

Guillermo Calderón Ruiz¹

¹Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales, Universidad Católica Santa María, Arequipa, Perú

La optimización de procesos es una necesidad crítica para cualquier organización que aspire a la eficiencia y la rentabilidad, y no basta con solo automatizar el *statu quo*. En el caso de la producción de leche, esto significa producir más rápido el error o el desperdicio, no mejorar la calidad o reducir los costos. La verdadera mejora surge de identificar los problemas de raíz y proponer soluciones que reformulen el flujo de trabajo. Aquí es donde interviene la minería de procesos, que se define como la disciplina que utiliza técnicas de *data science* para descubrir, monitorear y mejorar procesos reales a partir de los registros de eventos de los sistemas de información de una organización. La minería de procesos transforma los datos de la operación diaria en una radiografía detallada del proceso. En lugar de confiar en organigramas estáticos o suposiciones, esta herramienta ofrece una visión objetiva de cómo se ejecuta el trabajo: dónde están los desvíos, por qué se generan los retrasos y qué recursos están sobrecargados. Al tener procesos debidamente documentados y organizados con base en la evidencia real, la minería de procesos asegura que las acciones de optimización, automatización o rediseño estén dirigidas a los puntos de mayor impacto, garantizando que el logro de los objetivos del negocio sea el más eficaz y eficiente posible.

Este trabajo se centra en la optimización de cinco procesos clave en la gestión de un establo: el registro del ganado, el registro de la gestación, el registro de vacunas, el registro de enfermedades y, el proceso central, la producción de leche. Los primeros cuatro procesos tienen una implicancia directa y crítica sobre el último; cualquier ineficiencia en ellos se traduce inevitablemente en una merma en la producción de leche y, por ende, en una pérdida de las ganancias del establo. Al analizar los procesos, encontramos problemas significativos: falta o mal registro de datos, lo que lleva a la mala toma de decisiones por falta de información y, en última instancia, a una clara pérdida de dinero. El objetivo inicial era desarrollar un *software* que apoyara estos procesos, pero comprendimos que si el proceso subyacente era ineficiente, la herramienta digital sería inútil. Por ello, tuvimos que optimizar los procesos actuales antes de cualquier desarrollo tecnológico. En esta presentación, nos dedicaremos a explicar la importancia fundamental del uso de la minería de procesos en esta optimización. Mostraremos las mejoras tangibles que logramos en los procesos involucrados y finalizaremos mostrando los resultados obtenidos luego de implementar y desarrollar el software en función de los nuevos procesos optimizados. Sin embargo, el foco principal de nuestra discusión no es el software, sino la metodología de minería de procesos que hizo posible la verdadera transformación.

Palabras clave: *Process mining, ganadería lechera*

Monitoreo del comportamiento y del stress por calor en el ganado lechero utilizando Internet de las Cosas

Efraín Mayhua López¹

¹Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica y de Telecomunicaciones, Universidad Católica San Pablo, Arequipa, Perú

La productividad en la industria del ganado lechero está intrínsecamente ligada al bienestar y la salud individual de cada vaca. El monitoreo continuo es esencial para la detección temprana de problemas, incluyendo la identificación de estro, enfermedades (como la cojera), y angustia. Presentamos una plataforma IoT de bajo costo y modular basada en la tecnología LoRa (Long-Range) para el monitoreo del comportamiento y la estimación del estrés por calor en vacas lecheras en tiempo real. La arquitectura del sistema, denominada IoT-DCBM, emplea una topología de estrella compuesta por dispositivos terminales, una puerta de enlace (*Gateway*), un servidor de red y un servidor de aplicaciones. Los nodos terminales utilizan un microcontrolador para bajo consumo, e incorporan sensores de acelerometría triaxial y temperatura. Estos dispositivos están diseñados para una duración de batería de hasta 5 años. Una característica distintiva de la plataforma es la implementación de aprendizaje automático incrustado (*embedded machine learning*) directamente en el nodo terminal. Esto permite la clasificación automática de cuatro actividades clave (descansar, caminar, comer y rumiar) a partir de las características extraídas de las señales de aceleración sensadas en ventanas de 5 segundos. La clasificación in-situ reduce significativamente la cantidad de datos transmitidos por la red inalámbrica LoRa, mitigando colisiones y prolongando la vida útil de las baterías. Para la tarea de clasificación, el algoritmo Random Forest (RF) fue seleccionado por su rendimiento y bajo coste computacional en operación, alcanzando un Mathew correlation coefficient (MCC) de 0.86. Se observó que las actividades de baja intensidad, como descansar y rumiar, son las que presentan mayor confusión. Además del comportamiento, la plataforma se enfoca en el monitoreo del estrés por calor mediante la estimación en tiempo real del Índice de Temperatura y Humedad ajustado (THIadj). Para el cálculo del THIadj, se recopilan variables ambientales como la temperatura ambiental, la humedad relativa, la velocidad del aire y la intensidad de la radiación solar. El sistema presenta la evolución del THIadj en una interfaz web, con tres niveles de alarma definidos: Normal ($\text{THIadj} < 74$), Alerta ($75 \leq \text{THIadj} \leq 78$) y Peligro ($79 \leq \text{THIadj} \leq 83$). La plataforma fue probada con éxito en un entorno real, el Fundo Santa Gabriela en Arequipa, Perú, demostrando la fiabilidad de la red LoRa para la comunicación a largas distancias y el procesamiento y almacenamiento de datos en la nube. Los resultados obtenidos son competitivos con el estado del arte y pueden contribuir al desarrollo de sistemas automatizados que mejoren el bienestar y la productividad del ganado lechero.

Palabras clave: Internet de las cosas, bienestar animal y monitoreo

AnimalTech: Validación de dispositivos de biotelemetría para animales de producción, competencia y compañía

Sandra Pérez Buitrago¹

¹Facultad de Ingeniería Biomédica, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú

AnimalTech es un proyecto de investigación aplicada que presenta el desarrollo de un sistema de telemetría para animales, compuesto por el módulo RumiTech para rumiantes y el módulo de monitoreo para animales de compañía, específicamente perros y gatos. La plataforma permite la captura de variables fisiológicas (frecuencia cardíaca, saturación de oxígeno y temperatura), actividad física, geolocalización y parámetros ambientales, mediante sensores de alta precisión, transmitiendo los datos a una plataforma web basada en IoT para su almacenamiento, procesamiento y análisis. Esta arquitectura tecnológica permite la gestión centralizada de poblaciones animales, ofreciendo herramientas para la toma de decisiones basada en evidencia, la detección temprana de eventos críticos y la optimización de la producción y el bienestar animal.

La solución incorpora alertas automáticas, seguimiento individualizado y control de indicadores de desempeño, facilitando intervenciones preventivas y reduciendo riesgos en contextos productivos y domésticos. El proyecto ha sido desarrollado con financiamiento de PROCIENCIA y fondos de innovación de la Pontificia Universidad Católica del Perú, en colaboración con Instituto de Educación Superior de Técnicas Agropecuarias (INTAP) y el establo Lactea S.A., lo que asegura su validación en entornos reales y el potencial de escalamiento tecnológico para aplicaciones de ganadería de precisión y cuidado de animales domésticos.

Palabras clave: *biotelemetría, monitoreo animal*

Desarrollo de un sistema basado en inteligencia artificial para la evaluación de la calidad de fibras de animales mediante cortes transversales

Quispe-Peña, E.C.

¹ Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico Natural Fiber's Tech SAC. Lima, Perú.

²Departamento de Producción Animal, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

*Autor corresponsal: edgarquispe62@gmail.com

Existen muchos métodos para medir el diámetro y medulación de la fibra de animales basados en la observación de perfiles de fragmentos de fibra, los que no permiten identificar, ni medir diferentes estructuras morfológicas, el origen de dichas fibras y mucho menos evaluar las características transversales (CaTra). De otro lado, características como la presencia de fibras objetables (FOB) y los diferentes tipos de densidad de las fibras (DenFib), a la fecha aún no se pueden evaluar de forma práctica y objetiva, y a pesar que pueden considerarse excelentes criterios de selección a la fecha no pueden ser utilizadas dentro de los programas de mejoramiento genético animal. Por estas consideraciones desarrollamos un novedoso procedimiento y dispositivo, basados en inteligencia artificial, para evaluar las CaTra, FOB y DenFib, de forma práctica y rápida. Para el desarrollo del procedimiento se tomó en consideración un muestreo de fibras de un área determinada de piel (2cm x 2cm) del animal, para lo cual se construyó un dispositivo de muestreo personalizado, de tal forma logrando contar la cantidad de fibras pueda determinarse la densidad expresada en N° de fibras/área de piel específica; y para el desarrollo del dispositivo, se integró 04 subsistemas: Óptico, mecánico, electrónico y software. Para la identificación y conteo automático de cada una de las fibras al corte transversal se utilizó un modelo basado en inteligencia artificial debidamente entrenado, previo etiquetamiento de las médulas y el contorno de las fibras de más de 70,000 fibras. Como resultado se obtuvo un procedimiento y dispositivo al que denominamos Fiber Mult, el cual permite determinar en forma automática CaTra de las fibras (área, perímetro, elipticidad, eje mayor y menor) y de las médulas (área medular, perímetro medular, elipticidad medular, eje mayor medular y eje menor medular). Adicionalmente también permite determinar la incidencia de medulación y FOB (expresados en %), así como los diferentes tipos de DenFib (expresados en cantidad de fibras, área de fibras y peso de fibras por unidad de área de piel, a los que denominamos densidad_n, densidad_a y densidad_p). El procedimiento para la obtención de imágenes de fibras al corte transversal pasa por insertar la muestra de fibra dentro del canal de un micrótomo personalizado, que luego es ajustada mediante una lengüeta que encaja perfectamente en el canal del micrótomo. Luego, se cortan con una cuchilla bien afilada, las fibras salientes de la parte superior e inferior de dicho canal. La muestra así preparada se coloca en el Fiber Mult, procediéndose a capturar entre 8 a 10 imágenes, las que luego son procesados por el software, brindando inmediatamente los datos de las características anteriormente indicadas. Se concluye que es posible medir práctica y rápidamente características transversales de fibras, así como la incidencia de medulación, fibras objetables y los diferentes tipos de densidad, lo cual

repercibirá en un mejor conocimiento de las fibras y así lograr obtener avances en la mejora de la calidad de las mismas, a través de mejoramiento genético, procesos artesanales o industriales.

Palabras clave: *Camélidos sudamericanos, densidad, medulación, fibras objetables, medición, caracterización, innovación tecnológica.*

Agradecimiento: *A CONCYTEC, quien a través de PROCIENCIA ha financiado el presente desarrollo tecnológico, bajo contrato No. PE501091790-2024-PROCIENCIA*

Sistemas de Información Espacial aplicada a la Ganadería de Precisión en los Andes Peruanos.

Javier Ñaupari Vásquez¹

¹Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales, Universidad Nacional Agraria La Molina, Av. La Molina S/N, Lima, Perú

La ecorregión puna comprende 10.5 millones de hectáreas pastoreables que sustentan el 80% de la ganadería nacional. Sin embargo, el 82.8% de estos ecosistemas presenta un estado de salud en riesgo debido a factores ambientales y de manejo inadecuado, resultando en menor infiltración hídrica, incremento de erosión, pérdida de materia orgánica y reducción de la productividad primaria.

Los métodos tradicionales de evaluación presentan limitaciones para medir procesos ecológicos a diferentes escalas espaciales y temporales. El Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales de la UNALM (LEUP-UNALM) ha implementado tecnologías de información espacial mediante sensores remotos satelitales y drones para el monitoreo y manejo sostenible de pastizales altoandinos. Los estudios realizados incluyen: (1) análisis de dinámica espacio-temporal de biomasa usando imágenes MODIS e índice NDVI; (2) clasificación de cobertura vegetal mediante algoritmos de aprendizaje automático en Google Earth Engine con datos Landsat 8 OLI en la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas; (3) evaluación de la degradación de pastizales basado en datos de campo y productos del satélite Landsat; (4) estimación de biomasa mediante firmas espectrales e índices de vegetación obtenidos con vehículos aéreos no tripulados (VANT).

A pesar del potencial demostrado, la adopción de estas tecnologías en sistemas ganaderos andinos enfrenta desafíos como fragmentación predial, acceso limitado a tecnología y conectividad deficiente. Las tendencias emergentes ofrecen oportunidades para superar estas limitaciones: inteligencia artificial para predicción automatizada de condiciones de pastizales, IoT masivo mediante redes de sensores de bajo costo, drones autónomos para monitoreo regular, e integración de big data ganadero desde múltiples fuentes. Estas tecnologías representan una oportunidad para desarrollar una ganadería de precisión adaptada al contexto andino, integrando la evaluación del potencial de los pastizales altoandinos con la provisión de servicios ecosistémicos y la sostenibilidad productiva.

Palabras claves: *Pastizales altoandinos, sensores remotos, NDVI, aprendizaje automático, biomasa forrajera*

Machine learning aplicado a la clasificación de muestras de leche

José Taquia Gutiérrez¹

¹Universidad de Lima

La adopción de tecnologías de Industria 4.0 en el sector lácteo está transformando toda la cadena de suministro, desde el acopio de leche hasta la entrega al consumidor. El uso de IoT permite monitorear temperatura y ubicación para mantener la cadena de frío, mientras que la inteligencia artificial y la analítica predictiva optimizan la planificación de la producción y el mantenimiento de equipos. Esta trazabilidad digital mediante RFID asegura la transparencia del origen y calidad del producto, y la visión artificial mejora el control de envases y la detección de defectos. Estas tecnologías orientadas a crear gemelos digitales que incrementen la eficiencia y reduzcan mermas es el contexto del desarrollo de aplicaciones de machine learning para monitorear los procesos operativo y de control de calidad del sector lácteo. En el presente estudio se realizó la clasificación de la leche- empleando machine learning- para la determinación de la presencia de adulterantes dentro de las muestras seleccionadas. Para el logro de este objetivo, se utilizarán métodos de clasificación como random forest, redes neuronales y k-nearest neighbor, generalmente usados por la industria de alimentos.

Palabras clave: machine learning, RFID, monitoreo operativo

SESIÓN DE POSTERS

Uso de random forest para estimar biomasa aérea en pasturas tropicales desde imágenes uavs (unmanned aerial vehicle system)

Cesar Humberto Ciprian Huaque¹, Javier Arturo Ñaupari Vasquez¹*

1 Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

*Autor corresponsal: cciprian@lamolina.edu.pe

Los métodos tradicionales de estimación de biomasa aérea han sido manuales, laboriosos y poco escalables. En contraste, los avances en sensores multiespectrales montados en UAVS permiten capturar imágenes de alta resolución y generar índices de vegetación como el NDVI facilitando el monitoreo de pasturas. El objetivo fue calibrar un modelo de estimación de biomasa vegetal aérea en pasturas tropicales, utilizando imágenes captadas por UAVS y el algoritmo de aprendizaje automático Random Forest, como un indicador esencial en la planificación de la distribución de ganado en los potreros de pastoreo. El algoritmo Random Forest ofrece una solución eficiente para manejar grandes volúmenes de datos e identificar patrones entre variables espectrales e información de biomasa obtenida en campo. La investigación se desarrolló en el Fundo Pucayacu del IRD-Selva, en la región San Martín, Perú. En la fase de campo, se establecieron transectas en ocho potreros con árboles dispersos y cercos vivos como arreglos silvopastoriles, con puntos de control distribuidos en las transectas de donde se colectó biomasa mediante el método de cosecha total y se tomaron imágenes multiespectrales con un sensor Micasense RedEdge M montado en un UAV DJI Matrice 210v2. Los datos analizados en la plataforma Google Earth Engine, donde se entrenó el modelo Random Forest, obtuvieron como resultado preliminar la ecuación de estimación de biomasa $B = 0.717 * ps + 0.082$ con un $R^2 = 0.863$ donde “B” es la biomasa estimada predicha y “ps” el peso seco de los cortes de pasto, este modelo será comparado con las estimaciones basadas en índices de vegetación y biomasa de campo, evaluando cuál de los dos métodos ofrece mayor precisión para estimar la biomasa en base de materia seca en un determinado momento.

Palabras clave: *Biomasa, UAV, multiespectral, pasturas tropicales.*

Identificación microhistológica de la composición botánica en dietas de herbívoros con ayuda de visión artificial

Brenda Cuadros ^{1}, Katherine Capuñay ¹, Manuel Herrera ², Javier Ñaupari ¹*

¹Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Zootecnia, Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales (LEUP), Lima, Perú.

²VICMA AGROPECUARIA EIRL, Lima, Perú

*Autor corresponsal: 20180364@lamolina.edu.pe

El análisis microhistológico de heces es una técnica fundamental para determinar la composición botánica de las dietas de herbívoros, ya que permite identificar fragmentos epidérmicos de plantas; sin embargo, presenta limitaciones por el tiempo requerido, la necesidad de especialistas y la subjetividad en la interpretación. La lectura tradicional de una sola muestra puede demorar entre 2 y 4 horas, lo que reduce la cantidad de análisis que pueden realizarse en determinado tiempo. Ante ello, el uso de herramientas de inteligencia artificial representa una alternativa innovadora para optimizar este proceso. El presente trabajo tiene como objetivo calibrar y validar el modelo de visión artificial YOLOv5 en la identificación microhistológica de fragmentos vegetales, empleando tanto muestras simuladas con composición botánica conocida como muestras fecales de caprinos al pastoreo. En ambas fases se aplica el análisis microhistológico tradicional y el automatizado mediante IA, lo que permitirá comparar simultáneamente la exactitud y el tiempo de procesamiento en cada tipo de muestra. Se espera que la herramienta de IA alcance un nivel de concordancia alto con el método tradicional, pero con una reducción significativa en el tiempo de análisis. Asimismo, se espera que el modelo logre identificar con exactitud la proporción de especies vegetales presentes en la dieta de los caprinos, reduciendo la subjetividad del especialista. En conclusión, se proyecta que la aplicación de inteligencia artificial permitirá transformar el análisis microhistológico en una técnica más eficiente y objetiva, aportando beneficios directos a investigadores, productores ganaderos y gestores de fauna silvestre, además de contribuir a la sostenibilidad del manejo de pastizales y a la conservación de ecosistemas altoandinos.

Palabras clave: *Microhistología, inteligencia artificial, YOLOv5, dieta, herbívoros.*

Selectividad y composición de la dieta de alpacas al pastoreo usando técnicas de precisión y microhistología en heces

Héctor Gonzales¹ y Javier Arturo Naupari Vásquez¹*

¹Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Zootecnia, Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales (LEUP), Lima, Perú.

*Autor corresponsal: 20180369@lamolina.edu.pe

En los sistemas extensivos de pastoreo de la puna peruana, la gestión sostenible de los pastizales y la productividad de las alpacas dependen en gran medida del conocimiento de su dieta y de la selectividad forrajera. La presente investigación tiene como objetivo determinar la selectividad y la composición de la dieta de alpacas al pastoreo en tres épocas del año (seca, inicio de lluvias y fin de lluvias), utilizando la técnica de microhistología de heces y el seguimiento de áreas de pastoreo con collares GPS. El estudio se desarrollará en la Unidad de Producción Lachocc (Huancavelica, 4,200 msnm), donde se recolectarán 45 muestras vegetales y 45 muestras fecales de alpacas pastando en pastizales altoandinos Pajonales, césped de puna y bofedales. La técnica de microhistología permitirá identificar fragmentos epidérmicos de especies forrajeras presentes en las heces, comparándolos con un atlas de referencia botánica de la zona, adicionalmente se complementará el monitoreo mediante collares GPS para registrar el desplazamiento por las áreas de pastoreo de alpacas en estudio para determinar patrones de consumo, tiempos de pastoreo, preferencias de pasturas selectividad. Los datos recolectados con el GPS por un intervalo de tiempo de 3 días, se procesan al final de cada jornada con la ayuda del programa ArcGIS para complementar y precisar la técnica de microhistología. Se espera demostrar que la composición botánica de la dieta de alpacas varía significativamente según la estacionalidad y que las alpacas presentan selectividad alimentaria hacia especies forrajeras de mayor valor nutricional, lo cual incide directamente en la capacidad de carga de los pastizales. El conocimiento generado permitirá diseñar estrategias de manejo sostenible, como la planificación del pastoreo rotacional y la conservación de especies clave, contribuyendo a la productividad de los camélidos y a la resiliencia de los ecosistemas altoandinos frente al cambio climático.

Palabras clave: *Selectividad alimentaria, Composición botánica de la dieta, Microhistología Fecal, Monitoreo con GPS*

Dispositivo calefactor portátil para tubos de colección de semen en alpacas

Manuel Herrera Ortiz¹, Lane Zehnder Echevarría²*

¹ VICMA AGROPECUARIAS E.I.RL.

² Ing. Zootecnista. Práctica privada

*Autor corresponsal: m_herrera_o@yahoo.com

La recolección de semen en alpacas presenta limitaciones asociadas al tiempo prolongado del proceso (10 a 20 minutos) y a la necesidad de mantener la temperatura de los tubos de colección cercana a la corporal del animal. La exposición a variaciones térmicas puede inducir un shock en los espermatozoides, reduciendo la calidad seminal y limitando la eficiencia de las biotecnologías reproductivas aplicadas a los camélidos sudamericanos. Con el fin de resolver esta limitación, se desarrolló un dispositivo calefactor portátil diseñado específicamente para mantener las condiciones térmicas adecuadas de los tubos durante la colección. El equipo es ligero, de fácil manipulación y programable dentro del rango fisiológico requerido para preservar la viabilidad espermática, asegurando una temperatura estable y uniforme durante todo el procedimiento. La versatilidad del diseño permite su uso en condiciones de campo, donde los recursos energéticos suelen ser limitados, y garantiza autonomía suficiente para completar varias colecciones en una sola jornada de trabajo. En pruebas preliminares, el dispositivo mostró una capacidad consistente para mantener la temperatura deseada con mínima variación, lo que contribuye a la obtención de muestras de mejor calidad. Este desarrollo constituye una alternativa práctica e innovadora para mejorar la eficiencia del proceso de recolección de semen en alpacas, favoreciendo el avance de programas de reproducción asistida, inseminación artificial y conservación de recursos genéticos en camélidos sudamericanos.

Palabras clave: *Alpacas, semen, colección, biotecnología reproductiva, calefactor.*

Dispositivo calefactor portátil para tubos de colección de semen en alpacas

Manuel Herrera Ortiz¹*, Héctor Huisacaina Soto², Eduardo Fuentes Navarro²

¹ VICMA AGROPECUARIAS E.I.RL.

² Universidad Nacional Agraria La Molina Departamento de Física – Facultad de Ciencias
Universidad Nacional Agraria La Molina, Programa de Mejoramiento Animal – Facultad de Zootecnia

*Autor corresponsal: m_herrera_o@yahoo.com

La criopreservación de semen constituye una herramienta esencial en los programas de reproducción animal, ya que permite el almacenamiento, transporte y uso eficiente de material genético de alto valor. Sin embargo, el éxito del proceso depende en gran medida de la precisión en el control del descenso de temperatura durante la congelación. En este trabajo se desarrolló un sistema automatizado basado en control electrónico de potencia por ángulo de fase, diseñado para regular de manera gradual la liberación de vapores de nitrógeno líquido dentro de una caja térmica de material aislante (tecknopor). El equipo incorpora una placa calefactora de 550 watts que recibe pulsos eléctricos de milésimas de segundo, generando evaporación controlada del nitrógeno líquido. Un sensor de resistencia de platino (RTD) ubicado a nivel de las rejillas porta pajillas registra continuamente la temperatura y envía la señal al controlador, que ajusta los pulsos eléctricos en función de la curva programada de enfriamiento desde 0 °C hasta – 196 °C. Este diseño permite un control más estable y reproducible del gradiente térmico, reduciendo los riesgos de choque osmótico y daños estructurales en las células espermáticas. El sistema está adaptado para disponer pajillas en dos niveles, garantizando uniformidad de exposición y homogeneidad de congelación entre lotes. Asimismo, se ha incorporado la opción de operación con baterías recargables, lo que amplía su aplicabilidad en condiciones de campo y en laboratorios con limitaciones de suministro eléctrico. En pruebas preliminares, el dispositivo mostró una curva de descenso ajustada a los parámetros ideales de criopreservación, con mínima variabilidad entre repeticiones. En conclusión, este desarrollo constituye una alternativa tecnológica confiable, de bajo costo y con potencial de transferencia a centros de inseminación artificial, contribuyendo al fortalecimiento de programas de mejoramiento genético y conservación de recursos reproductivos en especies de interés zootécnico.

Palabras clave: Criopreservación, semen, reproducción animal, nitrógeno líquido, control automatizado.

Uso de machine learning para estimar biomasa aérea con drones en pasturas de Brachiaria bajo ganadería regenerativa

Fabiola Huashuayo Flores¹, Javier Ñaupari Vásquez¹*

¹Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Zootecnia, Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales (LEUP), Lima, Perú.

*Autor corresponsal: celeste.992705@gmail.com

La estimación de biomasa aérea en pasturas sirve como indicador clave para evaluar la productividad y sostenibilidad para sistemas ganaderos donde la implementación de drones para estimar biomasa y “*machine learning*” ofrece nuevas oportunidades para el monitoreo eficiente. El objetivo de esta investigación fue analizar datos multiespectrales mediante “*machine learning*” (ML) para estimar biomasa aérea en pasturas bajo sistema de ganadería tradicional y regenerativa. El presente estudio se realizó en pasturas de brachiaria bajo ganadería regenerativa y tradicional en el distrito de Iñapari, Madre de Dios, donde se evaluaron 4 fundos por cada tipo de ganadería y se utilizó imágenes multiespectrales obtenidas con cámara Micasense transportado por drone Mavic200 a una altura de vuelo de 30 metros donde se obtuvo 2 cm como tamaño de pixel. Las evaluaciones se realizaron durante la época seca (agosto) donde se extrajeron un total de 192 cuadrantes de 0.25 m² que se usaron para la calibración y validación del algoritmo de regresión. Los resultados obtenidos en campo revelan que la biomasa forrajera del sistema regenerativo es mayor en un 44.21% que el tradicional; mientras que las variables espectrales predicen la biomasa aérea seca con un R² de 0.90. Se concluye que el potencial del uso de tecnologías de ML para estimación precisa de biomasa contribuye al monitoreo y gestión sostenible de sistemas ganaderos.

Palabras clave: Biomasa, drones, sensores remotos, machine learning

Control electronico on/off para el protocolo de criopreservacion de embriones de bovino

Héctor Huisacaina Soto¹, Juan Pesantes Rojas¹, Manuel Herrera Ortiz²

1 Universidad Nacional Agraria La Molina, Departamento de Física – Facultad de Ciencias

2 VICMA AGROPECUARIAS E.I.R.L.

*Autor corresponsal: hhuisac@lamolina.edu.pe

La congelación de embriones permite crear bancos y distribuir material genético de animales de alto valor a diferentes lugares y momentos, mejorando así la calidad del hato. En ese sentido, se describe un sistema de control electrónico diseñado para obtener una temperatura variable en función del tiempo, especificado en los protocolos para la crio preservación de embriones de bovino. En el proceso de congelación se usó el vapor del nitrógeno líquido para lograr un enfriamiento gradual y controlado, desde la temperatura del ambiente hasta -35 °C; el enfriamiento gradual se hizo mediante un circuito electrónico de control ON/OFF, basado en un procesador digital de señales (DSP). Se hicieron pruebas del sistema para obtener la curva temperatura vs. tiempo recomendado por el protocolo de crio preservación de embriones de bovinos; los resultados obtenidos permitieron concluir que el diseño presentado permite controlar adecuadamente la temperatura al interior de la cámara dentro del rango establecido con errores menores a 1 °C.

Palabras clave: Control ON/OFF, crio preservación, embriones.

Implementación de un sistema automatizado de lámparas infrarrojas como estrategia de innovación ganadera bovina y reducción de mortalidad neonatal en zonas altoandinas

Jarold Melendez¹, Nicole Villanueva¹, Ruth Alarcon¹, Octavia Torres¹, Javier Ñaupari², Paul Mendoza ^{1*}

¹ Círculo de investigación en producción sostenible de bovinos cárnicos y doble propósito.

²Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Zootecnia, Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales (LEUP), Lima, Perú.

*Autor corresponsal: 20211930@lamolina.edu.pe

En las zonas altoandinas del Perú, la alta mortalidad de terneros durante la etapa neonatal, debido al estrés por frío, es una las limitantes principales de la ganadería, pues estos constituyen la base para la reposición del hato y, por ende, para la sostenibilidad productiva y económica de la actividad. El presente estudio propone como alternativa tecnológica la implementación de un sistema automatizado de lámparas infrarrojas reguladas mediante sensores de temperatura y un microcontrolador Arduino. El sistema está diseñado para activarse automáticamente cuando la temperatura ambiental desciende a 15°C y desactivarse al alcanzar los 18 °C, generando un microclima controlado dentro de los galpones de crianza. Se busca mitigar las pérdidas de energía asociadas a la termorregulación y mejorar las condiciones de bienestar animal en los dos primeros meses de vida, etapa crítica para la supervivencia de los terneros. Adicionalmente, el sistema cuenta con un componente de conectividad IoT que permite registrar y transmitir en tiempo real las variables ambientales hacia una base de datos en la nube. Este enfoque facilita el monitoreo remoto y abre la posibilidad de implementar estrategias de manejo basadas en datos, mejorando la trazabilidad y el control de las condiciones de crianza en sistemas ganaderos de altura. Se espera que la aplicación de este sistema automatizado genere un impacto positivo en la reducción de la mortalidad neonatal, incremente la ganancia de peso y talla de los terneros y aporte una herramienta tecnológica de bajo costo, accesible y escalable para pequeños y medianos productores de regiones altoandinas. Con ello, no solo se contribuirá al bienestar animal y a la sostenibilidad productiva, sino también a la modernización de la ganadería, que actualmente se encuentra en un proceso de adaptación a las nuevas tendencias de digitalización y aplicación de tecnologías emergentes en el sector agropecuario.

Palabras clave: *Ganadería altoandina, mortalidad neonatal, IoT, Arduino,*

Contigo pecuario: plataforma digital para la ganadería de precisión en el Perú

Alfredo Gama¹, Carlos Cáceres¹, César Segura¹, Equipo Contigo Pecuario²

¹Soluciones Analíticas Contigo S.A.C., Cal. Juan Velazco Alvarado 205, Arequipa, Perú.

*Autor correspondiente: Cesar.a.segura@contigopecuario.com

La ganadería peruana enfrenta retos vinculados a la baja productividad, la limitada adopción tecnológica y la escasa digitalización de procesos. En este contexto, se desarrolló Contigo Pecuario, una plataforma digital orientada a pequeños y medianos ganaderos que busca mejorar la competitividad mediante el uso de herramientas computacionales y principios de ganadería de precisión. El objetivo del proyecto es ofrecer un sistema inteligente que integre registros productivos, reproductivos y sanitarios, apoyando la toma de decisiones en tiempo real. La metodología aplicada combina desarrollo de software con capacitación directa a productores, uso de módulos de registro offline con sincronización en la nube, y análisis de datos para generar alertas y reportes personalizados. Los resultados preliminares muestran una mejora significativa en el control sanitario, reducción de pérdidas reproductivas y optimización de la gestión productiva, con más de 500 ganaderos registrados en distintas regiones del país. Se concluye que la digitalización del sector pecuario, acompañada de formación y herramientas analíticas, constituye una estrategia viable para incrementar la sostenibilidad y la eficiencia de la producción ganadera en el Perú.

Palabras clave: Ganadería de precisión; Digitalización; Plataforma pecuaria; Toma de decisiones

Milkcost: plataforma digital para el análisis de costos en establos lecheros

José Tataje Morales¹*, S. Reyes¹, C. Espinoza¹, Eduardo Fuentes Navarro²; Hugo Alatrista Salas³

¹ Círculo de Investigación y Extensión en Ganadería Lechera (CIEGAL), Facultad de Zootecnia, Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú.

² Programa de Mejoramiento Animal, Facultad de Zootecnia, Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú.

³ Escuela de ingeniería del Pôle Universitaire Léonard De Vinci, París, Francia.

*Autor corresponsal: 20190437@lamolina.edu.pe

En los sistemas lecheros de la costa del Perú, la ausencia de herramientas prácticas para determinar los costos reales de producción limita la capacidad de los productores para tomar decisiones técnicas y económicas fundamentadas. Como respuesta a esta necesidad, se encuentra en desarrollo la plataforma digital MILKCOST, cuyo objetivo es permitir el registro, determinación y análisis de los costos de producción por kilogramo de leche en establos de pequeña y mediana escala. La metodología del proyecto considera la revisión de experiencias previas en aplicaciones y hojas de cálculo, la identificación participativa de necesidades mediante entrevistas y grupos focales con productores, y el diseño de una interfaz digital accesible y adaptable a dispositivos móviles. La arquitectura de la plataforma contempla módulos de registro por rubros (alimentación, sanidad, mano de obra, entre otros), análisis gráfico y exportación de reportes, con un enfoque de simplicidad y usabilidad. Actualmente el estudio se encuentra en la etapa de levantamiento de información y pruebas piloto con productores, incluyendo el establo lechero de la Universidad Nacional Agraria La Molina, con el fin de establecer las características que tendrá la plataforma digital, así como verificar su utilidad práctica. Una vez culminada la validación, MILKCOST será vinculada al sitio web del Programa de Mejoramiento Animal, lo que permitirá su difusión gratuita y garantizará sostenibilidad técnica mediante el soporte institucional. Se espera que, al concluir su implementación, esta herramienta contribuya a mejorar la precisión en la gestión de costos, reducir gastos operativos innecesarios y fortalecer la rentabilidad de las unidades productivas lecheras en la región.

Palabras claves: *Ganadería de precisión, costos de producción, leche, gestión económica, plataforma digital.*

Arquitectura web progresiva con sincronización de datos sin conexión para el registro de producción láctea en escenarios de baja conectividad

Fred Torres Cruz^{1,2*}

¹Universidad Nacional del Altiplano de Puno

² Universidad Nacional Agraria la Molina

*Auto corresponsal: torresfrd@gmail.com

El acceso reducido a infraestructura digital en regiones como Puno-Perú limita el registro y gestión de datos productivos en el sector quesero generando pérdidas de información, consecuentemente se restringe una adecuada toma de decisiones basada en evidencia. Con el fin de ofrecer una alternativa, este estudio desarrolla y evalúa una arquitectura de una aplicación web progresiva (PWA) diseñada bajo principios offline-first y local-first para asegurar la captura y sincronización de datos en condiciones de baja o intermitente conectividad. La propuesta combina un frontend reactivo (Svelte, Vite) con un backend ligero (Node.js, Express, MySQL); los datos se almacenan temporalmente en localStorage y se organizan en una cola de sincronización procesada de forma asíncrona al restablecerse la red, incorporando un detector de conectividad y reintentos automáticos para optimizar el ancho de banda y mitigar pérdidas. En un entorno de pruebas controladas y en escenarios productivos de la región de Puno, la propuesta preservó la integridad de los datos, garantizó actualizaciones inmediatas en la interfaz y redujo en >70 % los fallos de sincronización frente a métodos convencionales; además, incrementó la eficiencia del registro, mejorando la disponibilidad y confiabilidad de información crítica para la gestión. En conclusión, la propuesta es una solución adaptable y replicable que impulsa la digitalización del sector quesero en contextos rurales, que además ofrece un modelo transferible a otros sectores que operan bajo limitaciones tecnológicas, atenuando los riesgos asociados a la pérdida de datos y favoreciendo procesos de innovación, sostenibilidad y toma de decisiones basadas en evidencia.

Palabras clave: *toma de decisiones, sincronización de datos sin conexión*

Estimación de altura y biomasa aérea en sistemas silvopastoriles altoandinos mediante UAV-RGB y LiDAR

Lamberto Valqui-Valqui^{1,*}, Leandro Valqui^{1,2}, Leidy G. Bodadilla^{1,2}, William Bardales¹, Luis H. Zagaceta¹, Samuel Pizarro¹, Manuel Reyna^{1,2}, Jorge L. Maicelo¹, Héctor V. Vásquez¹

1 Laboratorio de Agrostología, Instituto de Investigación en Ganadería y Biotecnología, Facultad de Ingeniería Zootecnista, Biotecnología, Agronegocios y Ciencia de Datos de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas, Chachapoyas 01001, Perú

2 Escuela de Posgrado, Programa Doctoral en Ciencias para el Desarrollo Sustentable, Facultad de Ingeniería Zootecnista, Biotecnología, Agronegocios y Ciencia de Datos, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas, Chachapoyas 01001, Perú

*Autor corresponsal: lamberto.valqui@untrm.edu.pe

La investigación responde a la necesidad de contar con métodos más precisos y eficientes para cuantificar variables estructurales de la vegetación, fundamentales para la gestión sustentable de los recursos forrajeros y forestales. Tradicionalmente, la medición de biomasa se ha basado en ecuaciones alométricas y muestreos de campo, procesos laboriosos, costosos y sujetos a error. El objetivo central de este estudio fue evaluar el potencial del uso combinado de sensores LiDAR y cámaras RGB montados en UAV (drones) para estimar de manera precisa la altura y la biomasa aérea en sistemas silvopastoriles de la región altoandina, donde las condiciones topográficas y climáticas hacen compleja la aplicación de metodologías convencionales. Para ello, se diseñó un muestreo con parcelas georreferenciadas, donde se midieron variables dendrométricas como altura y diámetro, complementadas con vuelos UAV que generaron nubes de puntos LiDAR, modelos de elevación y ortomosaicos RGB. Estos insumos, permitieron extraer métricas estructurales que fueron integradas en modelos predictivos de regresión múltiple y algoritmos de aprendizaje automático, destacando el Random Forest por su mayor precisión. Los resultados mostraron que el LiDAR permitió estimar la altura con un coeficiente de determinación superior al 0.8, mientras que en la biomasa aérea los modelos alcanzaron valores de R^2 de hasta 0.82 a nivel de parcela y 0.85 en entrenamiento individual de árboles, superando ampliamente la capacidad predictiva de las ecuaciones tradicionales. Estos hallazgos confirman que la integración de UAV-RGB y LiDAR constituye una herramienta robusta para el monitoreo de sistemas silvopastoriles, optimizando tiempo y recursos. En conclusión, la aplicación de tecnologías aéreas no tripuladas combinadas con modelado estadístico y de aprendizaje automático ofrece un enfoque innovador y replicable que fortalece la gestión sostenible de ecosistemas altoandinos, contribuyendo a la productividad agropecuaria, la conservación de servicios ecosistémicos y la toma de decisiones en escenarios de cambio climático.

Palabras clave: *Sistemas silvopastoriles, UAV-LiDAR, biomasa aérea, aprendizaje automático, sistemas altoandinos.*