



Análisis multidimensional de agroecosistemas ganaderos de doble propósito en laderas del Valle del Cauca

Multidimensional analysis of dual-purpose livestock agroecosystems on the slopes of Valle del Cauca

 Raúl Andrés Molina Benavides^{1*} y  Fernando Morales Vallecilla¹

Resumen

La ganadería bovina doble propósito en Colombia desempeña un papel clave en la seguridad alimentaria y la economía rural, pero su desarrollo en zonas de ladera implica retos ambientales, sociales y económicos. Este estudio analizó 21 fincas localizadas en la zona montañosa de Palmira (Valle del Cauca), corregimientos de Toche y Combia, mediante un enfoque multidimensional basado en 18 indicadores distribuidos en tres dimensiones: ambiental, social y económica. Se construyó un Índice Integrado de Sostenibilidad (ISG) con base en la normalización min-max y pesos iguales para cada dimensión, complementado con un análisis de clúster para la tipificación de fincas. Los resultados evidenciaron una alta variabilidad entre predios y sectores. En La Nevera, el ISG osciló entre 0.422 y 0.577, destacándose la finca La Cascada como la más sostenible y La Palma como la menos. En Combia, los valores fueron más contrastantes, entre 0.400 y 0.755, con la finca La Selva (JC) como referente positivo y El Idilio como caso crítico. La tipificación identificó tres clústeres en cada sector: La Nevera, con perfiles relativamente homogéneos y sin casos extremos; Combia, con dos clústeres atípicos (alto y bajo desempeño) y un grupo mayoritario intermedio. El análisis confirma que las estrategias de intervención no pueden ser uniformes para la región; mientras La Nevera requiere programas de extensión estandarizados para superar limitaciones gremiales, Combia demanda un enfoque de precisión orientado a la transferencia tecnológica desde los predios exitosos hacia los rezagados, validando la necesidad de diagnósticos micro-territoriales para la planificación del desarrollo rural.

Palabras clave: cría animal, ganadería, indicadores ambientales, indicadores socioeconómicos, leche.

Abstract

Dual-purpose cattle farming in Colombia plays a key role in food security and the rural economy; however, its development in hillside areas entails environmental, social, and economic challenges. This study analyzed 21 farms located in the mountainous zone of Palmira (Valle del Cauca), specifically in the Toche and Combia districts, using a multidimensional approach based on 18 indicators distributed across three dimensions: environmental, social, and economic. A General Sustainability Index (GSI) was constructed based on min-max normalization and equal weighting for each dimension, complemented by cluster analysis for farm typification. The results revealed high variability among farms and sectors. In La Nevera, the GSI ranged from 0.422 to 0.577, with La Cascada standing out as the most sustainable farm and La Palma as the least. In Combia, values were more contrasting, ranging between 0.400 and 0.755, with La Selva (JC) serving as a positive benchmark and El Idilio as a critical case. The typification identified three clusters in each sector: La Nevera presented relatively homogeneous profiles with no extreme cases; while Combia showed two atypical clusters (high and low performance) and a majority intermediate group. The analysis confirms that intervention strategies cannot be uniform for the region: while La Nevera requires standardized extension programs to overcome collective limitations, Combia demands a precision approach oriented toward technology transfer from successful farms to lagging ones, validating the need for micro-territorial diagnostics for rural development planning.

Keywords: animal husbandry, livestock farming, environmental indicators, socioeconomic indicators, milk.

Recibido: 09/10/2025

Aceptado: 27/12/2025

Publicado: 31/12/2025

Sección: Artículo Original

***Autor correspondiente:** ramolinab@unal.edu.co

Introducción

La ganadería en Colombia representa una actividad económica de considerable magnitud, contribuyendo de manera significativa al Producto Interno Bruto (PIB) agropecuario y satisfaciendo una parte sustancial de la demanda de alimentos de los hogares (FEDEGAN, 2018). No obstante, esta misma actividad genera repercusiones sobre los recursos naturales presentes en los ecosistemas que ocupa (Bustamante & Rojas, 2018).

Para el año 2024, según el inventario del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), el país presentó una población bovina de 29,203,256 animales, siendo los

departamentos de Antioquia, Caquetá, Casanare, Cesar, Córdoba y Meta los responsables del 48.13% del stock ganadero (ICA, 2024).

Aunque la actividad ganadera bovina se realiza en todo el territorio colombiano, algunos departamentos

¹Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Ciencia Animal. Palmira, Colombia.

Como citar: Molina Benavides, R. A., & Morales Vallecilla, F. (2025). Análisis multidimensional de agroecosistemas ganaderos de doble propósito en laderas del Valle del Cauca. *Revista de Investigaciones Altoandinas–Journal of High Andean Research*, 27, e27777. <https://doi.org/10.18271/ria.2025.777>



Attribution 4.0 Internacional (CC BY 4.0) Share–Adapt

no son representativos en cuanto al número de bovinos que albergan; no obstante, su importancia radica en la ubicación donde los sistemas productivos se encuentran (Molina & Sánchez, 2017). Este es el caso del Valle del Cauca, el cual contribuye tan solo con el 1.64% del inventario nacional (ICA, 2024) y gran parte de su actividad ganadera se ubica en zonas de ladera (Morales Vallecilla & Ortiz Grisales, 2018), bajo ecosistemas estratégicos, adyacentes o dentro de figuras de conservación, como son los complejos de páramos, parques naturales regionales, reservas forestales protectoras, entre otras (Gómez-Balanta & Ramírez-Náder, 2022; Molina Benavides et al., 2019, 2025).

Palmira, municipio ubicado en el departamento del Valle del Cauca, para el año 2024 presentó un inventario ganadero bovino de 20,726 animales (4.31% del inventario vallecaucano), ubicados en 510 fincas (ICA, 2024). Más del 50% de estos sistemas ganaderos está orientado al doble propósito, siendo el sistema de producción más representativo en las zonas montañosas (Gómez-Balanta & Ramírez-Náder, 2022; Molina Benavides et al., 2025). Esta orientación se caracteriza por la producción de leche diaria y la consecución de un ternero desteto al finalizar la lactancia de la vaca (González-Quintero et al., 2020).

Estos agroecosistemas ganaderos integran varios componentes biológicos, físicos y humanos, tales como suelos, coberturas vegetales, animales, criterios de manejo animal, factores humanos, condiciones climáticas y políticas públicas; lo cual, dificulta tener una visión integral del estado actual de los sistemas productivos y su evolución a lo largo del tiempo (Bravo Parra, 2020; Cardona Iglesias et al., 2021; Molina et al., 2014). Por ende, la gestión eficaz de las actividades que se llevan a cabo en diferentes áreas dependerá de la capacidad de conocer y controlar las múltiples interacciones y sinergias entre esos componentes. Esta gestión debe tender a garantizar la preservación de los recursos naturales y el mantenimiento o la mejora de la viabilidad económica y social de los ganaderos y las comunidades circundantes (Avellaneda-Torres et al., 2018; Ochoa & Valarezo, 2014).

Para abordar esta complejidad, la comunidad científica ha adoptado el concepto de sostenibilidad multidimensional, el cual busca armonizar las esferas ambiental, económica y social (Pretty et al., 2010; Rolando et al., 2017). Diversas investigaciones han propuesto el uso de indicadores prediales para diagnosticar el estado de los agroecosistemas, permitiendo identificar puntos críticos de manejo (Parra-Cortés & Magaña-Magaña, 2023; Prieto Sandoval et al., 2017; Silva-Téllez et al.,

2024). Sin embargo, la mayoría de estos estudios se han centrado en la validación de herramientas metodológicas o en el análisis de sistemas tecnificados, asumiendo a menudo una homogeneidad en las lógicas de producción campesina que no siempre refleja la realidad territorial.

A pesar de estos avances, existe un vacío de conocimiento sobre cómo los factores micro territoriales configuran perfiles de sostenibilidad diferenciados en las zonas. Específicamente, la literatura actual no ha explorado suficientemente la existencia de compensaciones y sinergias entre dimensiones en contextos de alta fragilidad ecosistémica, ni cómo variables como la asociatividad influyen en la polarización tecnológica de los predios. Se desconoce si las estrategias de intervención deben ser uniformes para toda la región altoandina o si, por el contrario, la heterogeneidad intrínseca de estos sistemas demanda tipologías de gestión específicas que los promedios estadísticos convencionales tienden a enmascarar.

En respuesta a esta carencia, el presente estudio tiene como objetivo caracterizar y tipificar la sostenibilidad de 21 agroecosistemas ganaderos en dos sectores contrastantes (La Nevera y Combia) de la zona montañosa de Palmira. A través de un enfoque de indicadores multidimensionales y análisis de conglomerados, se busca identificar patrones estructurales y brechas de desempeño que permitan formular estrategias de intervención diferenciadas, superando las limitaciones de los diagnósticos generalistas y contribuyendo a la base empírica sobre la gestión ganadera sostenible en los andes colombianos.

Materiales y Métodos

Área de Estudio

El estudio se realizó en la zona alta del municipio de Palmira, departamento del Valle del Cauca, Colombia, específicamente en los corregimientos de Toche y Combia. Los predios se localizaron en ecosistemas estratégicos, por encima de los 2,800 ms.n.m, algunos dentro o en la zona de influencia de diferentes figuras de conservación, como, por ejemplo, Parque Nacional Natural Las Hermosas, Parque Natural Regional del Nima, Reserva Forestal Protectora del río Amaime y zonas con áreas de reserva establecidas por la Ley Segunda de 1959. Esta región se caracteriza por su importancia ecológica, alto nivel de biodiversidad y disponibilidad hídrica, pero también por ser escenario de conflictos entre actividades productivas y objetivos de conservación (Figura 1).



Variables Utilizadas y Escala de Calificación

a los agroecosistemas productivos, criterios técnicos y consulta con expertos (zootecnistas, médicos veterinarios y ganaderos). Se utilizaron 18 indicadores asociados a tres dimensiones: i) Dimensión Económica, centrada en la viabilidad económica y el rendimiento financiero de las fincas, ii) Dimensión Social, enfocada en los aspectos humanos y comunitarios de la zona de estudio y, iii) Dimensión Ambiental, orientada al impacto ecológico de la actividad ganadera y la gestión de los recursos naturales. Cada dimensión utilizó seis indicadores. En la Tabla 1 se presentan las variables utilizadas y su descripción. Para la calificación de cada uno de los indicadores se utilizó una escala de evaluación entre 1 y 5, siendo 5 la situación deseada y 1 la peor situación (https://github.com/ramolinab/Escala-calificaci-n-indicadores-sostenibilidad/raw/main/Bater%C3%ADa_Indicadores_sostenibilidad.xlsx)

Tabla 1

Indicadores asociados a las dimensiones ambientales, sociales y económicas para el análisis de los agroecosistemas ganaderos bovinos

Variable	Dimensión	Descripción
1. Protección de fuentes de agua (nacimientos, quebradas, ríos, humedales)	Ambiental	Se refiere a todas las actividades que garanticen la PROTECCIÓN de las fuentes de agua (nacimientos, cauces de ríos y quebradas, humedales, turberas). Se entiende por PROTEGER evitar que las aguas y vegetación de las riberas de ríos y de tuberías/humedales se afecte por alguna causa como deforestación, entrada de ganado o intervención humana y que se usen obras de protección como cercas, aislamientos, cerramientos o rondas. La protección se refiere al no acceso a la fuente de agua con aislamientos de forma natural y/o artificial (cercos).
2. Manejo del suelo	Ambiental	Se refiere a todas las actividades que garanticen un adecuado uso del suelo. Se entiende por Manejo adecuado del suelo, prácticas de conservación que eviten la erosión y que el suelo tenga alta cobertura vegetal.
3. Manejo del bosque	Ambiental	Se refiere a todas las actividades tendientes al manejo adecuado del bosque, incremento, enriquecimiento, conservación y aprovechamiento sostenible de las áreas boscosas existentes.
4. Manejo del agua	Ambiental	Se refiere al adecuado uso, manejo y utilización del agua que realiza el predio con respecto al recurso disponible.
5. Árboles en potreros	Ambiental	Se refiere a la presencia de árboles distribuidos por ha en potreros. (árboles dispersos, franjas de árboles o en cualquier arreglo espacial). Estos pueden ser plantados o a partir de regeneración natural y pueden ser nativos o introducidos.
6. Cercas vivas	Ambiental	Se refiere a la utilización de árboles en las cercas de divisiones de potreros y linderos, como un medio para disminuir la presión hacia los bosques, proveer sombra y alimento para los animales.
7. Condiciones vivienda infraestructura y servicios públicos	Social	La vivienda principal del predio debe ofrecer todas las condiciones necesarias para vivir adecuadamente y tener mejor calidad de vida. BUEN ACCESO, SANEAMIENTO BÁSICO (pozos sépticos, tratamiento de aguas, baños). Servicios básicos, techo, piso y paredes en buen estado con espacio suficiente y óptimas condiciones de higiene y saneamiento.
8. Mano de obra	Social	Se refiere a la disponibilidad local con que se consigue mano de obra para las labores del predio.
9. Ingresos	Económico	Se define como la capacidad de la finca en producir recursos para cubrir los costos y generar utilidad durante todo el año.
10. Mercado seguro	Económico	Se refiere a la seguridad con la que los productos de la finca son comercializados.
11. Nivel de participación	Social	Hace referencia a la disponibilidad y capacidad del productor, el grupo familiar o delegado de participar en procesos de capacitación y organizaciones, aplicar conocimientos en su finca y difundirlos.
12. Asistencia técnica	Social	Hace referencia a la posibilidad de conseguir asistencia técnica especializada en actividades de reconversión.
13. Litros leche vaca /día	Económico	Corresponde a la producción promedio diaria de leche por vaca.
14. Registros técnicos y reproductivos	Económico	Se refiere a la toma de información, registro y análisis de datos técnicos que se generan en las actividades agropecuarias en la finca.
15. Carga animal	Económico	Se refiere a la cantidad de animales por ha, expresado en Unidades Gran Ganado (UGG), que el predio puede sostener.
16. Intervalo entre partos	Económico	Se refiere al tiempo que transcurre entre dos partos para el mismo bovino.
17. Escolaridad del propietario	Social	La escolaridad refleja el nivel de formación y capital humano del productor, lo cual influye en su capacidad para adoptar tecnologías y buenas prácticas, su disposición a recibir asistencia técnica y capacitación, y su participación en procesos asociativos o de gestión empresarial.
18. Frecuencia de visita al predio	Social	Refleja el nivel de involucramiento directo del propietario en la gestión del sistema productivo. Está asociada a: i) La gobernanza interna del predio, ii) El control sobre las decisiones operativas y estratégicas y iii) La calidad del vínculo entre el propietario y los trabajadores o la comunidad local.

Cálculo de Indicadores de Sostenibilidad

Teniendo como referencia los trabajos de (Ríos Atehortua, 2010, 2022; Ríos & Botero, 2020), los indicadores fueron adaptados a un Índice Integrado de Sostenibilidad a partir de la normalización min-max

de las variables y la asignación de pesos iguales a las tres dimensiones. Para cada dimensión se construyó un índice parcial: ISA: ambiental (Ecuación 1), ISE: económico (Ecuación 2), ISS: social (Ecuación 3), y posteriormente se integraron para obtener un índice general de sostenibilidad por finca (Ecuación 4).

$$ISA = \frac{\sum \left[\frac{VA_i \cdot P_{ij}}{\text{MaxValor}VA_i} \right]}{\sum P_{ij}} \text{ Ecuación 1.}$$

Donde:

ISA: Indicador de Sostenibilidad Ambiental

VAi: cada una de las variables asociadas a la dimensión ambiental

Pij: Los valores de importancia de cada VAi. Todas las variables tienen el mismo peso.

MaxValorVAi: Máximo valor que puede tener cada VAi

$$ISE = \frac{\sum \left[\frac{VA_i \cdot P_{ij}}{\text{MaxValor}VA_i} \right]}{\sum P_{ij}} \text{ Ecuación 2.}$$

Donde:

ISA: Indicador de Sostenibilidad Económica

VAi: cada una de las variables asociadas a la dimensión económica

Pij: Los valores de importancia de cada VAi. Todas las variables tienen el mismo peso.

MaxValorVAi: Máximo valor que puede tener cada VAi

$$ISS = \frac{\sum \left[\frac{VA_i \cdot P_{ij}}{\text{MaxValor}VA_i} \right]}{\sum P_{ij}} \text{ Ecuación 3.}$$

Donde:

ISS: Indicador de Sostenibilidad Social

VAi: cada una de las variables asociadas a la dimensión social

Pij: Los valores de importancia de cada VAi. Todas las variables tienen el mismo peso.

MaxValorVAi: Máximo valor que puede tener cada VAi

$$ISG = \frac{\sum IS_i \cdot P_{ij}}{\sum P_{ij}} \text{ Ecuación 4.}$$

Donde:

ISG: Indicador de Sostenibilidad General

ISi: cada una de los indicadores de sostenibilidad por dimensión

Pij: Los valores de importancia de cada ISi. Todos los indicadores por dimensión tienen el mismo peso.

Tipificación

Una vez calculados los indicadores parciales por dimensión (económica, social y ambiental) y el indicador Integrado de Sostenibilidad, se procedió a realizar un proceso de tipificación de los agroecosistemas ganaderos mediante análisis de conglomerados. Esta estrategia metodológica permitió clasificar los predios en grupos homogéneos de acuerdo con sus niveles de sostenibilidad. El objetivo de esta etapa fue identificar

patrones comunes y diferencias estructurales entre los sistemas, facilitando así la comprensión de la diversidad existente y permitiendo orientar acciones de mejora, intervención técnica y diseño de políticas diferenciadas de manera más eficiente.

La agrupación se realizó utilizando los valores normalizados de los indicadores como variables de entrada para el análisis de clúster, aplicando el método de K-means. Esta herramienta estadística permitió construir una tipología funcional de los predios, revelando perfiles de sostenibilidad específicos, los cuales fueron posteriormente caracterizados e interpretados según sus rasgos técnicos, productivos y territoriales.

Resultados y Discusión

Características de los Agroecosistemas Ganaderos

El análisis demográfico y productivo de los diez predios evaluados en el sector de La Nevera evidenció un perfil de productores envejecido, con un promedio de edad de 61.6 ± 8.14 años. La tenencia de la tierra mostró un predominio masculino (70%), mientras que la gestión operativa se caracterizó por la delegación de labores, dado que solo el 30% de los propietarios reside en el predio. Un hallazgo relevante fue la cohesión social absoluta, registrándose que el 100% de los productores pertenece a la asociación agrícola y ganadera para el desarrollo sostenible de La Nevera "Asoagrigan". En términos de uso del suelo, los sistemas destinaron una proporción significativa a la conservación (\bar{x} 42.33 \pm 18.45 ha), manteniendo una carga animal promedio de 38.44 ± 12.70 UGG por predio y un hato en ordeño de 14.7 ± 4.11 vacas.

Los 11 predios ganaderos del sector de Combia presentaron un 100% de propiedad masculina, con edades entre 38 y 70 años (\bar{x} 58.5 \pm 14). La asociatividad resultó ser una debilidad crítica, con apenas un 18% de vinculación a gremios locales. Referente a la escala productiva, los agroecosistemas presentaron áreas de 104 hectáreas en promedio, de las cuales el 28% estaba destinado a la conservación. En las áreas dedicadas al pastoreo de los animales, se encontraron, en promedio, cargas de 33 UGG con 14.5 vacas en ordeño.

La brecha en asociatividad entre ambos sectores (100% vs 18%) podría explicar las diferencias en la gestión del territorio. Estudios en Colombia, como los de (Barreto & Fajardo, 2018; N. Fonseca-Carreño, 2023; N. E. Fonseca-Carreño et al., 2020), sugieren que el capital social y la asociatividad actúan como amortiguadores ante crisis externas y facilitan la adopción de tecnologías de conservación, lo cual coincide con la mayor proporción de áreas protegidas observada en el sector de La Nevera.

Indicadores Integrales de Sostenibilidad

La evaluación de los Indicadores de Sostenibilidad Integrales (ISG) en el sector La Nevera evidenció una variabilidad moderada en el desempeño global de los predios. El índice promedio se situó en 0.504, con valores que oscilaron entre un mínimo de 0.422 (Finca La Palma) y un máximo de 0.577 (Finca La Cascada). Al analizar los componentes específicos, se observaron comportamientos heterogéneos (Tabla 2).

Tabla 2

Indicadores de Sostenibilidad Integrales (ISG) y sus componentes (ISA: Ambiental, ISS: Social, ISE: Económico) para las diez fincas analizadas en el sector La Nevera

Finca	ISA	ISS	ISE	ISG
Juntas	0.533	0.433	0.466	0.478
La Alejandra	0.533	0.500	0.600	0.544
Campo Alegre	0.666	0.466	0.500	0.544
El Paraíso	0.500	0.400	0.433	0.444
La Cascada	0.600	0.633	0.500	0.577
Las Delicias	0.633	0.400	0.533	0.522
El Puesto	0.600	0.466	0.533	0.533
El Volga	0.500	0.500	0.466	0.489
La Palma	0.533	0.300	0.433	0.422
El Bosque	0.666	0.300	0.500	0.489

Las fincas “El Bosque” y “Campo Alegre” lideraron la dimensión ambiental con un índice de 0.666, mientras que unidades como “El Paraíso” y “El Volga” registraron los valores basales del grupo (0.500). La dimensión social exhibió la mayor polarización; la finca “La Cascada” sobresalió con 0.633, en contraste con “La Palma” y “El Bosque”, que marcaron un descenso significativo hasta 0.3003. Finalmente, la dimensión económica fue liderada por la finca “La Alejandra” con un desempeño de 0.600, diferenciándose de “El Paraíso” y “La Palma”, que presentaron los registros más bajos (0.433).

En el consolidado, la finca “La Cascada” se perfiló como la unidad más equilibrada del sector (ISG=0.577), mientras que “La Palma” reflejó las mayores limitaciones estructurales (ISG=0.422), condicionada principalmente por su rezago social.

Los hallazgos en el sector La Nevera confirman que la sostenibilidad en sistemas de doble propósito opera como un fenómeno multidimensional no lineal (González-Quintero et al., 2020). La dispersión de los datos sugiere la ausencia de un patrón de gestión estandarizado en la región, validando la necesidad de diagnósticos prediales individualizados.

Un aspecto crítico identificado es la existencia de compensaciones (trade-offs) entre dimensiones. El hecho de que predios con excelencia ambiental (como “El Bosque”) no logren un ISG superior debido a deficiencias socioeconómicas, corrobora lo reportado por Ríos y Botero (2020). Estos autores sostienen que la maximización aislada de un componente (ambiental) no garantiza la resiliencia integral si no existe un soporte económico viable. Esta tensión es consistente con los planteamientos de Molina Benavides et al. (2023), quienes identifican la rentabilidad financiera como un factor limitante que, de no gestionarse, restringe la inversión en las otras esferas del desarrollo sostenible.

Por el contrario, el desempeño de “La Cascada” ilustra una sinergia positiva. Su liderazgo simultáneo en los indicadores social y económico respalda la hipótesis de que la eficiencia productiva puede actuar como un catalizador para la adopción de prácticas sostenibles, fenómeno documentado previamente por Pertuz Martínez & Elías Caro (2019) y Ríos & Botero (2020) en agroecosistemas exitosos. Este caso demuestra que es factible superar los trade-offs iniciales mediante modelos de gestión integrales.

Por su parte, el análisis de los Indicadores de Sostenibilidad Integrales (ISG) en el sector de Combia evidenció una marcada dispersión en el desempeño de los sistemas productivos. El índice promedio se situó en 0.523, superando la media observada en el sector de La Nevera, pero con un rango de variación amplio que osciló entre 0.400 (Finca El Idilio) y 0.755 (Finca La Selva JC). Al desagregar los componentes (Tabla 3), se observaron comportamientos heterogéneos.

Tabla 3

Indicadores de Sostenibilidad Integrales (ISG) y sus componentes (ISA: Ambiental, ISS: Social, ISE: Económico) para las once fincas analizadas en el sector Combia

Finca	ISA	ISS	ISE	ISG
La Selva	0.367	0.533	0.533	0.478
La Pradera	0.533	0.533	0.433	0.500
La Julia	0.466	0.533	0.600	0.533
La Aldea	0.400	0.533	0.533	0.489
La Estación	0.367	0.500	0.566	0.478
Riviera	0.500	0.600	0.533	0.544
La Selva (JC)	1.000	0.600	0.666	0.755
El Idilio	0.400	0.433	0.367	0.400
La Albania	0.500	0.500	0.666	0.555
El Tesoro	0.600	0.566	0.566	0.577
Bellavista	0.367	0.533	0.433	0.444

La dimensión ambiental (ISA) registró la mayor variabilidad del estudio. La finca “La Selva (JC)” alcanzó el valor máximo teórico (1.000), diferenciándose significativamente del resto del grupo. En el extremo opuesto, los predios “La Estación”, “La Selva” y “Bellavista” presentaron los registros basales del sector (0.367). Referente a la dimensión social (ISS), los resultados mostraron una distribución más homogénea. Las fincas “Riviera” y “La Selva (JC)” compartieron el puntaje superior (0.600), mientras que “El Idilio” marcó el límite inferior con 0.433. Finalmente, en la dimensión económica (ISE), las unidades “La Selva (JC)” y “La Albania” lideraron este indicador (0.666); por su parte, “El Idilio” exhibió el desempeño más restringido (0.367).

En el consolidado, “La Selva (JC)” se perfiló como un caso atípico de alto rendimiento (ISG=0.755), logrando puntajes superiores en las tres dimensiones simultáneamente. En contraposición, “El Idilio” evidenció una vulnerabilidad sistémica, registrando los valores mínimos en todos los componentes evaluados (ISG=0.400).

Los resultados del sector Combia, al igual que en La Nevera, demuestran una alta variabilidad en la sostenibilidad integral de las fincas. Sin embargo, el sector Combia presenta un caso atípico y de alto rendimiento, la finca La Selva (JC). Su puntaje perfecto en el Indicador de Sostenibilidad Ambiental (ISA = 1.000) y su excelente desempeño económico y social sugieren que ha implementado prácticas de gestión excepcionalmente efectivas que la posicionan como un modelo de referencia para la ganadería de doble propósito en ecosistemas estratégicos.

El caso de la finca La Selva (JC) resalta la posibilidad de alcanzar altos niveles de sostenibilidad en las tres dimensiones simultáneamente, desafiando la noción de que un alto desempeño ambiental o social debe ir en detrimento del rendimiento económico. Esto podría deberse a la implementación de prácticas agroecológicas avanzadas, una gestión eficiente de los recursos o un fuerte compromiso con las normativas de conservación (Muller, 2016). Este hallazgo merece un análisis más profundo para identificar las prácticas específicas que llevaron a este resultado sobresaliente y si son replicables en otras fincas. Por otro lado, la finca El Idilio representa el extremo opuesto, con bajo desempeño en todas las dimensiones, lo que indica un sistema productivo altamente vulnerable. Esto subraya la necesidad de intervenciones específicas y focalizadas para este tipo de fincas, que podrían requerir un enfoque integral en la mejora de la eficiencia técnica, la rentabilidad económica y la implementación de prácticas ambientales básicas (Obando-Enriquez et al., 2025).

En general, estos resultados no solo proporcionan un diagnóstico del estado actual de la sostenibilidad en los sectores de La Nevera y Combia, sino que también ofrecen una base empírica para la toma de decisiones (Molina & Sánchez, 2017; Silva-Téllez et al., 2024). La clasificación de las fincas con base en el ISG puede orientar a los productores y a los actores institucionales a priorizar acciones correctivas y a destinar recursos de manera más eficiente (Molina Benavides et al., 2020), centrándose en las dimensiones de sostenibilidad que presentan mayores deficiencias en cada finca (Parra-Cortés & Magaña-Magaña, 2023). La identificación de estos perfiles de sostenibilidad es crucial para diseñar políticas públicas y programas de apoyo a medida que promuevan una ganadería bovina más sostenible en el Valle del Cauca (Banco Mundial et al., 2021; Rios & Botero, 2020).

Tipificación de los Sistemas Ganaderos

Para el sector de La Nevera, el análisis de conglomerados jerárquico (K-means), basado en la matriz de distancias euclidianas (Figura 2), permitió segregar la muestra en tres grupos funcionales con características estructurales diferenciadas.

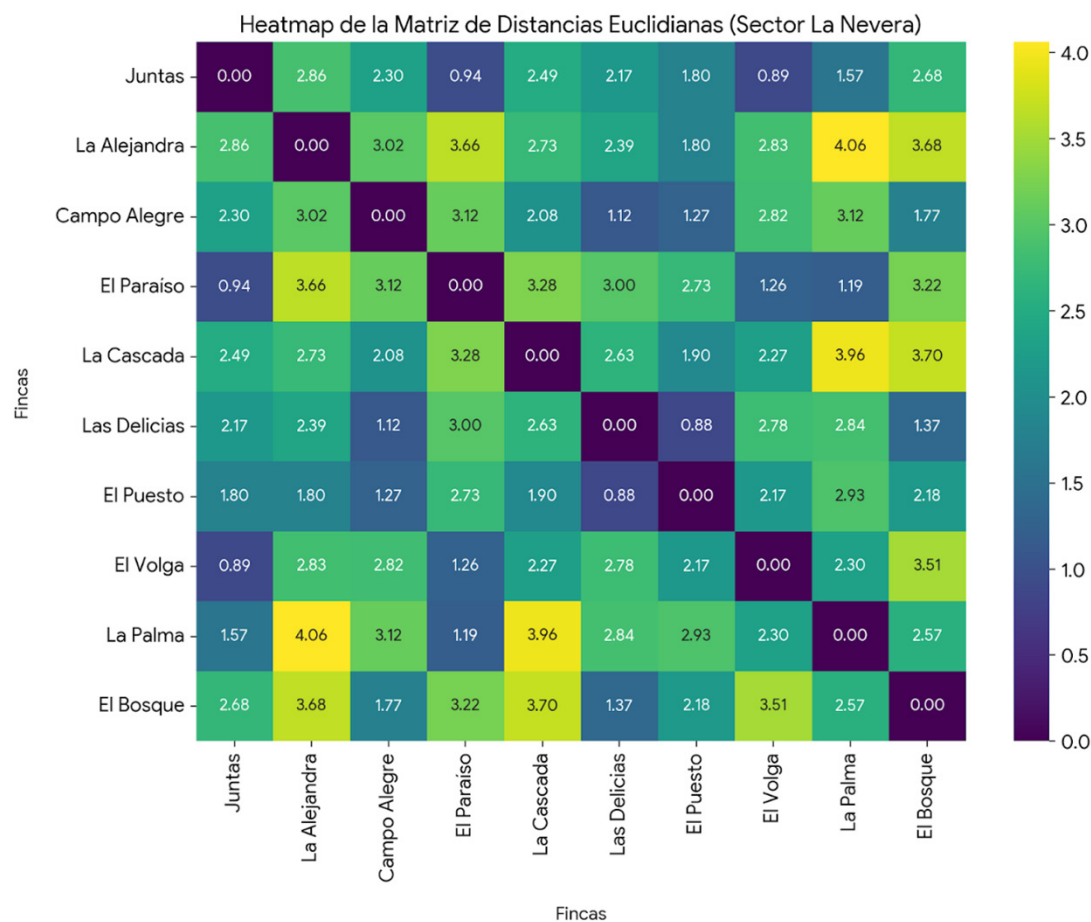
Clúster 1 (Sistemas con Desafíos Integrales): Este grupo consolidó a las fincas “Juntas”, “El Paraíso”, “El Volga” y “La Palma”. Estos predios se caracterizaron por registrar un desempeño promedio o inferior en al menos una de las dimensiones evaluadas, presentando las distancias euclidianas más cortas entre sí, lo que denota una alta homogeneidad en sus limitaciones productivas.

Clúster 2 (Sistemas de Desempeño Balanceado): El algoritmo agrupó en esta categoría a las unidades “La Alejandra”, “La Cascada” y “El Puesto”. Estos sistemas exhibieron los perfiles de sostenibilidad más robustos del sector, destacándose por una combinación armónica entre los índices ambiental (ISA), social (ISS) y económico (ISE). La inclusión de “La Cascada” en este grupo, a pesar de su ISG superior, ratifica que comparte patrones estructurales de gestión con “La Alejandra” y “El Puesto”.

Clúster 3 (Sistemas con Perfiles Mixtos): Conformado por “Campo Alegre”, “Las Delicias” y “El Bosque”, este conglomerado presentó comportamientos heterogéneos. Si bien estas fincas compartieron altos valores en la dimensión ambiental (ISA), sus indicadores sociales oscilaron significativamente. Esta agrupación evidenció una estructura subyacente basada en la especialización ambiental, aunque con brechas en la integralidad sistémica.

Figura 2

Heatmap de la matriz de distancias euclidianas para el sector de La Nevera. Las celdas con valores bajos (cercanos a 0.00) representan fincas con perfiles de sostenibilidad muy similares en sus indicadores ISA, ISS e ISE. Las celdas con valores altos indican que estas fincas tienen perfiles de sostenibilidad muy diferentes



La configuración de estos tres clústeres en La Nevera revela que, pese a la aparente uniformidad geográfica, existen tipologías de manejo distintas que requieren abordajes diferenciados.

La homogeneidad detectada en el Clúster 1 sugiere la existencia de barreras tecnológicas compartidas. Este hallazgo es consistente con el trabajo de Molina Benavides et al. (2020) en ganadería tropical, quienes señalan que los grupos de bajo desempeño suelen estar limitados por factores estructurales comunes (falta de asistencia técnica o infraestructura), lo que justifica la implementación de programas de extensión masivos para este segmento.

Por el contrario, el equilibrio observado en el Clúster 2 demuestra la viabilidad de modelos sostenibles en la zona. La capacidad de estas fincas para mantener altos índices sin sacrificar ninguna dimensión contrasta con la teoría de los trade-offs estrictos, alineándose más con los postulados de (Naudin et al., 2015; Peñuela et al., 2019; Rao et al., 2015) sobre la intensificación

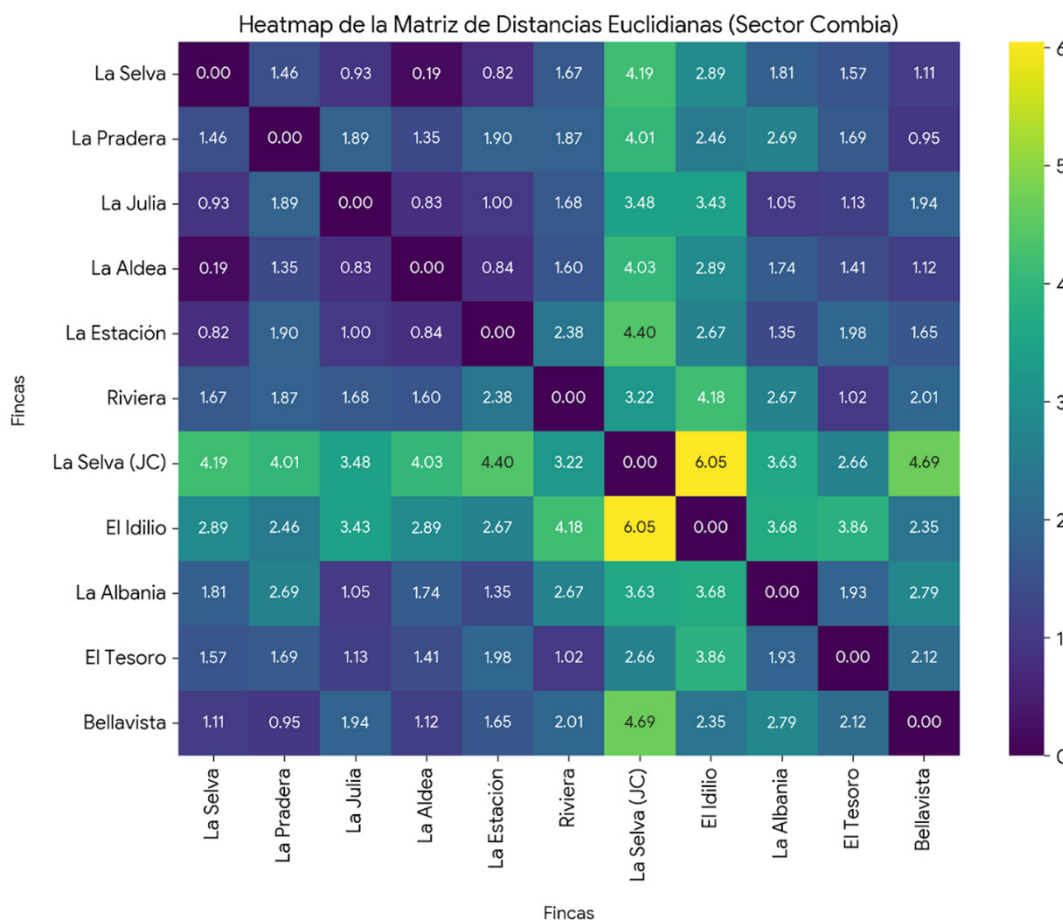
sostenible, donde la eficiencia de gestión amortigua las competencias entre objetivos económicos y ambientales.

Finalmente, el Clúster 3 ilustra el fenómeno de especialización incompleta. El hecho de que fincas con alto desempeño ambiental (“El Bosque”) se agrupen aquí debido a sus desequilibrios sociales, corrobora la necesidad de diagnósticos multidimensionales (FAO, 2018). Intervenir en este grupo requiere un enfoque de ajuste fino, enfocado específicamente en fortalecer el componente social y económico para nivelar su sostenibilidad integral, tal como recomiendan Ríos y Botero (2020).

Para el sector de Combia, el análisis de agrupamiento jerárquico (K-means), fundamentado en la matriz de distancias euclidianas (Figura 3), reveló una configuración estructural polarizada, diferenciándose del patrón observado en la zona anterior. El algoritmo segregó la muestra en tres componentes funcionales con características divergentes.

Figura 3

Heatmap de la matriz de distancias euclidianas para el sector de Combia. Las celdas con valores bajos (cerca de 0.00) representan fincas con perfiles de sostenibilidad muy similares en sus indicadores ISA, ISS e ISE. Las celdas con valores altos indican que estas fincas tienen perfiles de sostenibilidad muy diferentes



Clúster 1 (Sistemas de Transición): Este grupo consolidó a la mayoría de los predios evaluados (81.81% de la muestra). Las distancias euclidianas intermedias entre estas unidades indican que comparten un perfil de desempeño medio, caracterizado por una adopción parcial de prácticas sostenibles y limitaciones comunes en la dimensión social.

Clúster 2 (Atípico Superior): Compuesto únicamente por la finca La Selva (JC), aislándose estadísticamente del resto de la muestra debido a su desempeño excepcional. Su alto rendimiento en el Indicador de Sostenibilidad Ambiental (ISA=1.000) y sus altos puntajes en las dimensiones social y económica la diferencian de todas las demás fincas. Esta tipificación la posiciona como un modelo de referencia en el sector.

Clúster 3 (Atípico Inferior): En el extremo opuesto, la finca “El Idilio” se segregó como un caso aislado de alta vulnerabilidad. Sus indicadores marcaron las distancias más amplias respecto al grupo líder, reflejando un rezago sistémico en las tres dimensiones evaluadas.

La tipificación polarizada de Combia sugiere que la variabilidad en los modelos de gestión es mucho más acentuada que en La Nevera, lo que desafía la aplicación de políticas de extensión rural uniformes.

La identificación de “La Selva (JC)” como un outlier positivo valida la existencia de “Fincas Faro” en la región (Loaiza Cerón et al., 2014). Según Muller (2016), estos sistemas funcionan como nodos de innovación local; su aislamiento estadístico no debe interpretarse como una anomalía negativa, sino como una prueba de concepto de que la intensificación sostenible es viable bajo las condiciones edafoclimáticas locales. Estratégicamente, este predio debería funcionar como centro demostrativo para traccionar al “Clúster Central”.

Por otro lado, la segregación de “El Idilio” alerta sobre riesgos de exclusión productiva. Al contrastar este hallazgo con los lineamientos del Banco Mundial (2021), se evidencia que los productores en este nivel de rezago no responden a incentivos de mercado convencionales, sino que requieren programas de asistencia básica

focalizada (redes de seguridad productiva) para superar sus trampas de pobreza.

En síntesis, mientras La Nevera permite intervenciones gremiales estandarizadas, la estructura de Combia demanda una estrategia de “doble vía”: transferencia tecnológica avanzada para el grupo medio y rescate productivo para los rezagados, un enfoque diferenciado que optimiza la asignación de recursos públicos (Molina Benavides et al., 2020).

Conclusiones

La dimensión económica-financiera fue consistentemente valorada como la más relevante por los productores, lo que confirma que la rentabilidad es un motor fundamental para la sostenibilidad en estos sistemas productivos.

La evaluación sectorial reveló una amplia variabilidad en los Indicadores de Sostenibilidad Integrales (ISG) entre las fincas. El promedio de los sectores de La Nevera y Combia fue similar, pero la distribución de los resultados fue marcadamente diferente, con Combia mostrando casos extremos de sostenibilidad e insostenibilidad.

La tipificación de las fincas mediante el análisis de clústeres se mostró como una herramienta efectiva para identificar perfiles de sostenibilidad. Esto permitió agrupar las fincas con características similares y, más importante, identificar casos atípicos como La Selva (JC), que sirve como modelo de referencia, y El Idilio, que requiere atención prioritaria.

La metodología del indicador integral propuesta, con la inclusión de las dimensiones económica, social y ambiental, proporcionó un marco de análisis exhaustivo que puede ser utilizado para la toma de decisiones, la formulación de políticas públicas y el monitoreo del progreso hacia la sostenibilidad.

Finalmente, este estudio proporciona una base sólida para comprender la compleja dinámica de la sostenibilidad en la ganadería de doble propósito en ecosistemas estratégicos. Se recomienda que futuras investigaciones profundicen en las prácticas específicas de las fincas modelo para identificar estrategias replicables, y que se utilicen estos resultados para diseñar programas de extensión agrícola y políticas que promuevan una gestión más sostenible y resiliente en la región.

Agradecimientos

Los autores agradecen a las asociaciones ganaderas del sector de La Nevera (Asociación Agrícola y Ganadera para el Desarrollo Sostenible de La Nevera “Asoagrigan”) y del sector de Combia (Asociación de productores agricultores y ganaderos de la cuenca del río Amaime “Asoagriganaderos”) por su colaboración en las visitas a los predios ganaderos y la información brindada. A la Asociación de Zootecnistas del Valle “Azovalle” por el apoyo durante todo el proceso; a la Asociación de Usuarios de los ríos Amaime y Nima “Asoamaime” y al Programa Páramos & Bosques de USAID por el financiamiento y ejecución del Convenio por Monto Fijo No. PB-21-FAA-030 suscrito entre Asoamaime y el programa Páramos y Bosques de la agencia de los Estados Unidos para el desarrollo internacional (USAID), implementado por CHEMONICS INTERNATIONAL INC.

Contribución de autores

Conceptualización (RAMB & FMV), Curación de datos (RAMB y FMV), Análisis formal (RAMB), Investigación (RAMB & FMV), Metodología (RAMB), Validación (RAMB & FMV), Escritura–borrador original (RAMB & FMV), Escritura–revisión y edición (RAMB & FMV).

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de intereses.

Referencias

- Avellaneda-Torres, L. M., León Sicard, T. E., & Torres Rojas, E. (2018). Impact of potato cultivation and cattle farming on physicochemical parameters and enzymatic activities of Neotropical high Andean Páramo ecosystem soils. *Science of the Total Environment*, 631–632, 1600–1610. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.137>
- Banco Mundial, Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV), Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Federación Colombiana de Ganaderos (Fedegán), Fondo Acción para el Ambiente y la Niñez, & The Nature Conservancy (TNC). (2021). *Acción de mitigación nacionalmente*

apropiada NAMA de la ganadería bovina sostenible en Colombia.

- Barreto, J. A., & Fajardo, O. P. (2018). Asociatividad Como Estrategia Para El Crecimiento De Las Empresas Productoras De Leche En Colombia. *Revista Estrategia Organizacional / Unad*, 7(1), 67–85. <file:///C:/Users/gonza/Downloads/Dialnet-AsociatividadComoEstrategiaParaElCrecimientoDeLasE-7830588> (1).pdf
- Bravo Parra, A. M. (2020). *Cadenas sostenibles ante un clima cambiante: La ganadería en Colombia*. CIAT-GIZ.
- Bustamante, C., & Rojas, L. (2018). Reflexiones sobre transiciones ganaderas bovinas en Colombia, desafíos y oportunidades. *Biodiversidad En La Práctica*, 3(1), 1–29. <http://revistas.humboldt.org.co/index.php/BEP/article/view/516>
- Cardona Iglesias, J. L., Avellaneda Avellaneda, Y., & Castro Rincón, E. (2021). Estimación del consumo de forraje para dos biotipos bovinos lecheros en el trópico altoandino de Nariño, Colombia. *Revista de Investigaciones Altoandinas–Journal of High Andean Research*, 23(4), 220–228. <https://doi.org/10.18271/ria.2021.301>
- FAO. (2018). World Livestock: Transforming the livestock sector through the Sustainable Development Goals. <https://doi.org/978-92-5-130883-7>
- FEDEGAN. (2018). *Ganadería Colombiana: Hoja de ruta 2018-2022*.
- Fonseca-Carreño, N. (2023). Asociatividad: Una alternativa para el desarrollo y crecimiento de los sistemas de producción campesina. *Germina*, 5(5), 133–144. <https://cipres.sanmateo.edu.co/ojs/index.php/germina/article/view/893>
- Fonseca-Carreño, N. E., González Moreno, M. R., & Narváez Benavides, C. A. (2020). Asociatividad para la administración los sistemas de producción campesina. *Revista Estrategia Organizacional*, 9(1), 1–17. <https://doi.org/10.22490/25392786.3644>
- Gómez-Balanta, F. Z., & Ramírez-Náder, L. M. (2022). Carbon and nitrogen content of the soil in a high Andean agroecosystem of Valle del Cauca, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad and Divulgacion Científica*, 25(2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v25.n2.2022.2057>
- González-Quintero, R., Barahona-Rosales, R., Bolívar-Vergara, D. M., Chirinda, N., Arango, J., Pantévez, H. A., Correa-Londoño, G., & Sánchez-Pinzón, M. S. (2020). Technical and environmental characterization of dual-purpose cattle farms and ways of improving production: A case study in Colombia. *Pastoralism*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s13570-020-00170-5>
- ICA. (2024). *Censo Pecuario Nacional*. e: <https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018>
- Loaiza Cerón, W., Carvajal Escobar, Y., & Ávila Díaz, Á. J. (2014). EVALUACIÓN AGROECOLÓGICA DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS AGRÍCOLAS EN LA MICROCUENCA CENTELLA (DAGUA, COLOMBIA). *Colombia Forestal*, 17(2), 161–179. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2014.2.a03>
- Molina Benavides, R. A., Bustamante, C., Martínez, A., Uribe, J. R., & Redondo, J. M. (2020). Caracterización espacial de la ganadería bovina en la Orinoquia colombiana. *Revista MVZ Córdoba*, 25(3). <https://doi.org/doi.org/10.21897/rmvz.1720>
- Molina Benavides, R. A., Campos Gaona, R., Atzori, A. S., Sánchez, L. F., & Sánchez Guerrero, H. (2023). Application of a system dynamics model to evaluate the implementation of payment for environmental services as a reconversion mechanism in high mountain farming. *Ecological Modelling*, 484(June). <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2023.110469>
- Molina Benavides, R. A., Campos Gaona, R., Sánchez Guerrero, H., Giraldo Patiño, L., & Atzori, A. S. (2019). Sustainable Feedbacks of Colombian Paramos Involving Livestock, Agricultural Activities, and Sustainable Development Goals of the Agenda 2030. *Systems*, 7(4), 52. <https://doi.org/10.3390/systems7040052>
- Molina Benavides, R. A., Campos Gaona, R., Vélez Terranova, M., Atzori, A. S., Calero Quintero, D., & Sánchez Guerrero, H. (2025). Estimation of Environmental Indicators in High Mountain Cattle Ranching Agroecosystems. *Sustainability*

- (Switzerland), 17(3), 1–14. <https://doi.org/10.3390/su17031135>
- Molina, R. A., Atzori, A. S., Campos, R., & Sanchez, H. (2014). Using System Thinking to Study Sustainability of Colombian Dairy System. *Business Systems Review*, 3(2), 123–141. <https://doi.org/10.7350/BSR.D12.2014>
- Molina, R. A., & Sánchez, H. (2017). Sostenibilidad de sistemas ganaderos bovinos de alta montaña en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(2), 29–36. <https://doi.org/10.22490/21456453.2028>
- Morales Vallecilla, F., & Ortiz Grisales, S. (2018). Productividad y eficiencia de ganaderías lecheras especializadas en el Valle del Cauca (Colombia). *Revista de La Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 65(3), 252–268. <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v65n3.76463>
- Muller, A. (2016). La importancia de la ganadería para la agroecología y los sistemas de alimentación sostenibles. *Revista Colombiana de Zootecnia*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Naudin, K., Bruelle, G., Salgado, P., Penot, E., Scopel, E., Lubbers, M., de Ridder, N., & Giller, K. E. (2015). Trade-offs around the use of biomass for livestock feed and soil cover in dairy farms in the Alaotra lake region of Madagascar. *Agricultural Systems*, 134, 36–47. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.03.003>
- Obando-Enriquez, B. G., Bacca Acosta, P. P., & Castro-Rincón, E. (2025). Disponibilidad de Pago por Servicios Ambientales en Sistemas Silvopastoriles Lecheros de la Región Alto Andina Colombiana. *Revista de Investigaciones Altoandinas—Journal of High Andean Research*, 27, e27692. <https://doi.org/10.18271/ria.2025.692>
- Ochoa, D. K., & Valarezo, J. M. (2014). Caracterización y análisis de rentabilidad de los sistemas de producción ganaderos presentes en el cantón Yantzaza, Ecuador. *Revista Cedemaz*, 4(1), 76–85. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/240/223>
- Parra-Cortés, R. I., & Magaña-Magaña, M. Á. (2023). Índices de sostenibilidad de sistemas ganaderos con bovinos criollos: Casos México y Colombia utilizando el método SAFA. *Ciencia y Tecnología ITESCAM-Calkini*, 2(1), 34–47. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10237.06881>
- Peñuela, L., Ardila, A., Rincón, S., & Cammaert, C. (2019). Intensificación sostenible de los sistemas ganaderos frente al cambio climático en América Latina y el Caribe: estado del arte. In *Anuario estadístico de España* (p. 38). Intensificación sostenible de los sistemas ganaderos frente al cambio climático en América Latina y el Caribe: estado del arte.
- Pertuz Martínez, A. P., & Elías Caro, J. E. (2019). Competitividad en el sector ganadero en Colombia: Enfoque desde la historiografía económica, social y empresarial. *Panorama Económico*, 27(2), 453–480. <https://doi.org/10.32997/2463-0470-vol.27-num.2-2019-2637>
- Pretty, J., Sutherland, W. J., Ashby, J., Auburn, J., Baulcombe, D., Bell, M., & Bentley, J. (2010). The top 100 questions of importance to the future of global agriculture. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 8(4). <https://doi.org/10.3763/ijas.2010.0534>
- Prieto Sandoval, V., Jaca García, M., & Ormazabal, M. (2017). Economía circular: relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación. *Memoria Investigaciones En Ingeniería*, 15(15), 85–95.
- Rao, I., Peters, M., Castro, A., Schultze-Kraft, R., White, D., Fisher, M., Miles, J., Lascano, C., Blümmel, M., Bungenstab, D., Tapasco, J., Hyman, G., Bolliger, A., Paul, B., Van Der Hoek, R., Maass, B., Tiemann, T., Cuchillo, M., Douxchamps, S., ... Rudel, T. (2015). LivestockPlus—The sustainable intensification of forage-based agricultural systems to improve livelihoods and ecosystem services in the tropics. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 3(2), 59–82. [https://doi.org/10.17138/TGFT\(3\)59-82](https://doi.org/10.17138/TGFT(3)59-82)
- Ríos Atehortua, G. P. (2010). *Propuesta para generar indicadores de sostenibilidad en sistemas de producción agropecuaria, para la toma de decisiones. Caso: lechería especializada*. Universidad Nacional de Colombia.
- Ríos Atehortua, G. P. (2022). *Modelo de análisis de sostenibilidad en lechería especializada*. Universidad Nacional de Colombia.
- Rios, G. P., & Botero, S. (2020). An integrated indicator to analyze sustainability in specialized dairy farms in Antioquia—Colombia. *Sustainability (Switzerland)*, 12(22), 1–15. <https://doi.org/10.3390/su12229595>

- Rolando, J. L., Turin, C., Ramírez, D. A., Mares, V., Monerris, J., & Quiroz, R. (2017). Key ecosystem services and ecological intensification of agriculture in the tropical high-Andean Puna as affected by land-use and climate changes. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 236, 221–233. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.12.010>
- Silva-Téllez, J. M., Sastoque-Vargas, J. J., Parra-Cortés, R. I., Amaya-Martínez, A. A., Tucuch-Haas, J. I., & Franco-Ortega, J. A. (2024). Perspectivas para la evaluación de la sostenibilidad ganadera: Un estudio de caso en la región caribe de Colombia. *Agroind. Sci.*, 14(2), 107–113. <https://doi.org/http://doi.org/10.17268/agroind.sci.2024.02.03>