

Análisis de sostenibilidad en sistemas ganaderos vacunos colombianos: una revisión de los indicadores ambientales, económicos y sociales

Sustainability analysis in Colombians cattle systems: a review of environmental, economic and social indicators



Environment & Technology | ISSN: 2711-4422

Vol. 5 No. 2. Julio-Diciembre, 2024: 82-116

URL: <https://revistaet.environmenttechnologyfoundation.org/>

DOI: <https://doi.org/10.56205/ret.5-2.5>

Recibido: 20/11/2024

Revisado: 21/11/2024

Aprobado: 29/11/2024

María Paula Posso Guerra
Ingeniera sanitaria y ambiental
Magister en Sostenibilidad

mpaulaposso12@hotmail.com

<https://orcid.org/0009-0009-1683-9971>

Colombia

María Alejandra Vergara Ariza
Bióloga

mariaavergaraa5@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0008-0682-5958>

Colombia

Mónica María Machado Vargas
Bióloga

Doctora en Agroecología

Universidad de Antioquia, Grupo de Investigación MASO

monicamv134@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-3243-2572>

Colombia

Resumen

La sostenibilidad de los agroecosistemas ganaderos es un tema esencial gracias a su importancia económica y las consecuencias ambientales que genera. La ganadería en Colombia ocupa una gran parte del territorio rural, esta actividad tiene una huella importante en procesos de deforestación, pérdida de biodiversidad y emisiones de gases de efecto invernadero. El objetivo de este estudio es construir una propuesta metodológica que aborde los tres pilares de la sostenibilidad, a partir de una revisión sistemática utilizando la metodología PRISMA. Se tuvieron en cuenta 22 estudios, resultando en un total de 219 indicadores pertenecientes a las dimensiones: ambiental, económica y social. La dimensión ambiental es la más estudiada, haciendo énfasis en la conservación del suelo, gestión del agua y la biodiversidad; la dimensión económica, se centra en el estudio de la rentabilidad y la autosuficiencia. Finalmente, la dimensión social, la menos estudiada, aborda temas como: el bienestar humano, la equidad y la capacidad adaptativa. Los resultados son un reflejo de la falta de consenso tanto en la terminología usada como la elección de los indicadores clave, gracias a esto se necesita un enfoque más integral que aborde la sostenibilidad de manera equilibrada, algo esencial para promover prácticas sostenibles que involucren un equilibrio entre la conservación ambiental, la producción económica, y el bienestar social, lo que permite garantizar viabilidad a largo plazo de estos sistemas. Finalmente, se propone la creación de un marco metodológico consensuado, flexible e inclusivo que garantice una evaluación holística de los agroecosistemas ganaderos.

Palabras clave: Agroecosistemas; resiliencia; pequeños productores; bienestar animal; cambio climático.



Abstract

The sustainability of livestock agro-ecosystems is an essential issue due to its economic importance and the environmental consequences it generates. Livestock farming in Colombia occupies a large part of the rural territory; this activity has a significant footprint in deforestation processes, biodiversity loss and greenhouse gas emissions. The objective of this study is to build a methodological proposal that addresses the three pillars of sustainability, based on a systematic review using the PRISMA methodology. Twenty-two studies were taken into account, resulting in a total of 219 indicators belonging to the environmental, economic and social dimensions. The environmental dimension is the most studied, with emphasis on soil conservation, water management and biodiversity; the economic dimension focuses on the study of profitability and self-sufficiency. Finally, the social dimension, the least studied, addresses issues such as human well-being, equity and adaptive capacity. The results reflect the lack of consensus on both the terminology used and the choice of key indicators, which calls for a more holistic approach that addresses sustainability in a balanced way, essential to promote sustainable practices that involve a balance between environmental conservation, economic production, and social welfare, thus ensuring the long-term viability of these systems. Finally, the creation of a consensual, flexible and inclusive methodological framework is proposed to ensure a holistic assessment of livestock agroecosystems.

Key word: Agroecosystems; resilience; small livestock; animal welfare; climate change.

Introducción

A lo largo de los años la ganadería se ha convertido en parte esencial de la vida humana. El incremento de la demanda ha llevado a un aumento en la producción ganadera, siendo crucial para el desarrollo agropecuario al contribuir con la seguridad alimentaria y el crecimiento económico. En el Sur Global, el ganado es vital para proporcionar nutrición y apoyar a las comunidades campesinas, especialmente en zonas rurales de países de ingresos bajos a medianos (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación-FAO, 2023). En América Latina y el Caribe, la producción pecuaria contribuye con el 46% del Producto Interno Bruto (PIB) Agropecuario y ha crecido a una tasa anual del 3.7% (FAO, 2012).

En otro panorama, el sector agroalimentario ganadero afronta uno de los principales desafíos de insostenibilidad, el cual consiste en continuar alimentando a una población que crece exponencialmente, bajo condiciones de deterioro y agotamiento de los recursos naturales (Angón et al., 2016). Los impactos ambientales y externalidades negativas del sector se deben principalmente a la escasa planificación del uso del suelo e inadecuada gestión de los recursos naturales, contribuyendo significativamente con la pérdida de



biodiversidad, la deforestación de los bosques tropicales, la erosión y compactación de los suelos frágiles, la contaminación del agua y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (Angón et al., 2016; Gómez-Villalva et al., 2019).

Algunas cifras muestran la magnitud de las afectaciones del sector ganadero. Del total de tierras agropecuarias, el 68.4% son para ganadería; asociando al sobrepastoreo como la principal causa de degradación de praderas (Michigan State University, 2015) y una de las principales para la pérdida de biodiversidad mundial (FAO, 2021). Se estima que la ganadería representa alrededor del 8% del uso humano mundial del agua, lo cual afecta la cantidad y calidad de las fuentes de agua debido a los agroquímicos y pastoreo (Rojas-Downing et al., 2017). El sector agroalimentario ganadero contribuye significativamente al cambio climático, aportando el 12% de las emisiones antropogénicas de GEI globales, estimadas en 6.2 Gton de CO₂eq/año. El 60% de estas emisiones provienen de la producción de carne y leche vacuna (FAO, 2023).

Colombia enfrenta impactos ambientales por la ganadería; la deforestación y pérdida de biodiversidad son causadas por la expansión de la frontera agropecuaria y prácticas no sostenibles (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM, 2023). Con solo 28.8 millones de cabezas de ganado, la actividad ganadera bovina ocupa el 38% del área rural del país superando las tierras con vocación ganadera por más del doble (Departamento Nacional de Estadística-DANE, 2020). El 66% de las tierras ganaderas sufren degradación por sobreexplotación, como la compactación y la erosión (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible-MADS, 2016).

Respecto al potencial calentamiento global, la ganadería bovina colombiana emitió 28.9 Mt de CO₂ eq en 2020, con Córdoba y Sucre como principales emisores (11%) (Banco Mundial et al., 2022). Según el Inventario Nacional de gases de GEI, las emisiones del sector ganadero se presentan en forma de: CO₂ por cambio de bosque a pastizales (28,9%) y CH₄ por fermentación entérica (20,7%), siendo este último el 80% del total del sector (26%) (IDEAM, 2016).

Por otro lado, el sector ganadero tiene un papel importante en la economía de Colombia y en el desarrollo de pequeños y medianos productores, generando 1,428,698 empleos y contribuye con el 1.8% del PIB nacional, equivalente al 20.2% del PIB agropecuario (Fedegan, 2022). Sin embargo, la ganadería en el país, en su mayoría a pequeña escala,



enfrenta desafíos como la baja productividad, falta de formación para los pequeños productores, dificultades en acceder al crédito para adoptar tecnologías y desigualdad en la tenencia de tierras (Federación Colombiana de Ganaderos-Fedegan, 2014; Unidad de Planificación Rural Agropecuaria-UPRA, 2020).

Este panorama de degradación de los recursos naturales se agrava por la crisis climática, generando cambios en las relaciones socioecológicas en agroecosistemas ganaderos; reduciendo su capacidad para enfrentar eventos climáticos y enfermedades, disminuyendo la producción y la productividad. Esto pone en riesgo a comunidades campesinas que dependen de esta actividad, con poca adaptabilidad a los desafíos actuales (FAO, 2021). En otras palabras, el sector ganadero se enfrenta en la actualidad a desafíos ambientales, sociales y económicos para lograr la sostenibilidad: aumento en la demanda de alimentos, degradación de recursos naturales, cambio climático, pobreza y amenazas a la salud (FAO, 2018).

En respuesta a la problemática, la agroecología surge como un enfoque holístico y sistémico para el manejo sustentable de los agroecosistemas, considerando las interacciones entre todos los componentes físicos, biológicos y socioeconómicos, mejorando su capacidad de respuesta ante eventos externos (Altieri & Nicholls, 2013; Sarandón & Flores, 2014). En años recientes, han surgido enfoques de producción ganadera vacuna con principios agroecológicos que buscan la sostenibilidad (Ibarra-Vrska, 2019; Murgueitio et al., 2019; Nicholls et al., 2015; Pinheiro, 2004). Estas prácticas buscan mejorar la productividad y eficiencia de los productos ganaderos, al mismo tiempo que reducen las afectaciones ambientales y la generación de GEI (FAO, 2012). Estos enfoques de ganadería sostenible incluyen ganadería silvopastoril, regenerativa y orgánica, la cual es estudiada por Bassignana et al. (2022), Ferguson et al. (2013), Hanisch et al. (2019), Nahed, et al. (2019), Sandoval et al. (2023) y Silva-Cassani et al. (2022).

A pesar de mejoras en agroecosistemas de producción vacuna, falta información sobre efectividad de nuevas prácticas/tecnologías en sostenibilidad. Evaluaciones basadas en indicadores multidimensionales son las más usadas. Estas proporcionan comprensión del desempeño de los agroecosistemas al ofrecer información cualitativa o cuantitativa de parámetros o procesos esenciales (Altieri & Nicholls, 2013; (Lebacq et al., 2012; Marandure et al., 2017; Motta-Delgado et al., 2019).



No obstante, lo anterior, elegir indicadores es un desafío para los investigadores interesados en evaluar la sostenibilidad de sistemas de producción. La falta de un marco consensuado complica la selección. La sobrecarga de indicadores dificulta la elegibilidad y aumenta los costos de medición. La selección de indicadores estratégicos puede influir en la calidad de la evaluación y las conclusiones del estudio (Marandure et al., 2017).

El desafío principal es identificar y monitorear aspectos clave de los sistemas de producción ganadera para evaluar los efectos de prácticas y tecnologías. La evaluación de sostenibilidad contribuye a generar conocimiento para proponer estrategias, decisiones y gobernanza local que promuevan la resiliencia del sector (Torres-Jara de García et al., 2023). El objetivo de este artículo es construir una propuesta metodológica de indicadores sociales, económicos y ambientales, a partir de una revisión sistemática de la literatura científica, para estudiar la sostenibilidad de agroecosistemas de ganadería vacuna basada en pasto en Colombia.

Metodología

El estudio se llevó a cabo siguiendo la metodología de revisión sistémica propuesta por Pardal-Refoyo & Pardal-Pelaez (2020) y la Declaración PRISMA (Page et al., 2021); La búsqueda de literatura se realizó entre agosto y diciembre de 2023, en las bases de datos Science Direct, Springer Link, Scopus y Google Scholar. La ruta de búsqueda general fue: [TITLE-ABS-KEY (cattle production system) AND (indicator) AND (sustainability)]. En todas las bases de datos se utilizaron los límites de tiempo para los últimos 10 años: “2013 to present” y “between 2013 and 2023”.

Se establecieron criterios de inclusión y exclusión para determinar la elegibilidad de los artículos. Se incluyeron estudios originales en inglés o portugués, publicados entre 2013 y 2023, que evaluaran la sostenibilidad de sistemas ganaderos basados en pasto (carne, leche o mixtos) y que a la vez mencionaran los indicadores: ambientales, económicos y sociales. Se excluyeron los estudios sobre producción industrial o confinada, así como aquellos que solo abordaran una dimensión de la sostenibilidad sin considerar un análisis integral.

Los datos extraídos se tabularon en Microsoft Excel y se complementaron con el software Obsidian, que facilitó el análisis de ideas y conexiones entre autores.

Posteriormente, los indicadores se homologaron. Usando Excel y R-Studio, se determinaron las proporciones de artículos por dimensión y se identificaron los indicadores más mencionados, así como los países con mayor relevancia.

Resultado y discusión

Selección de artículos

La implementación del protocolo de búsqueda mediante la ruta descrita anteriormente arrojó artículos publicados entre los años 2013 y 2023 (ScienceDirect 58, Springer Link 29, Scopus 87, Google Scholar 187), para un total de 274 artículos.

Se analizaron un total de 45 artículos en texto completo y como resultado 23 de ellos fueron eliminados por cumplir con los criterios de exclusión. Finalmente, el protocolo de búsqueda en las cuatro bases de datos incluyó 22 artículos en la revisión sistemática (**Figura 1**). En esta búsqueda no se incluyó literatura gris ya que ninguna cumplía con los requisitos de inclusión.

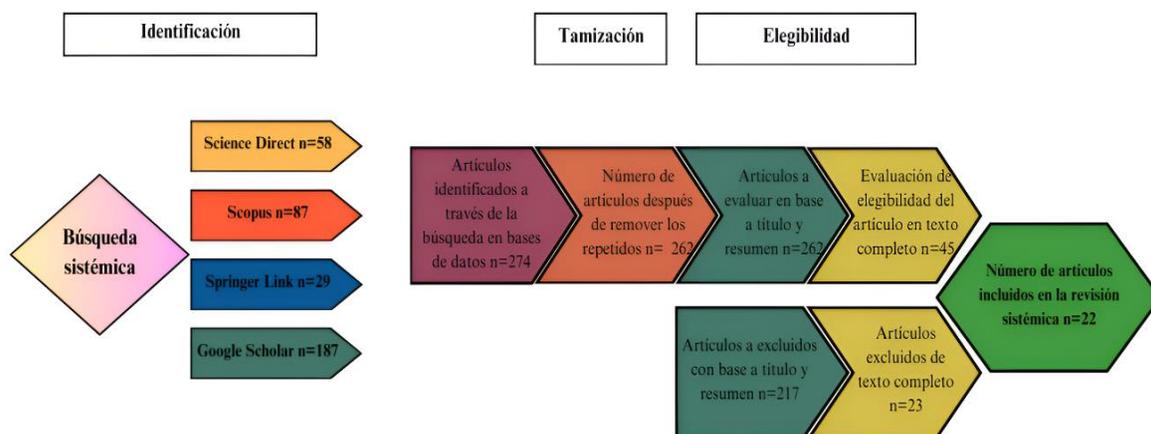


Figura 1. Diagrama de búsqueda sistemática. Fuente: elaboración propia.

Concepto de la sostenibilidad para evaluar los agroecosistemas ganaderos vacunos

La ganadería vacuna comprende una gran variedad de sistemas productivos complejos, formados por los componentes suelo-planta-animal, sujetos a modificaciones antrópicas a



través de su manejo (Motta-Delgado et al., 2019). Estos agroecosistemas presentan múltiples técnicas, manejados por diferentes grupos sociales, con diferentes patrones de inserción al mercado (diversidad de productos); lo cual genera como resultado una gran variación en los subsistemas en términos físico-bióticos, técnicos, económicos, culturales y sociales (Murgueitio, 1999). Por lo anterior, los agroecosistemas ganaderos por su multidimensionalidad son sistemas socioecológicos, entendiendo estos como sistemas complejos, donde interactúan dinámicamente los sistemas sociales y ecológicos y sus subsistemas asociados (Salas-Zapata et al., 2012).

Un agroecosistema ganadero sostenible, debe ser suficientemente productivo, económicamente viable, ecológicamente adecuado y cultural y socialmente aceptable (Marandure et al., 2017; Serrano-Martínez & Ruiz-Mantecón, 2003; Torres-Jara de García et al., 2023; Van-Heurck et al., 2020).

La resiliencia socioecológica es clave para la sostenibilidad de los sistemas de producción, definida como la capacidad de autoorganización adaptativa para mantener sus atributos tras una perturbación (Salas-Zapata et al., 2012); se considera que los sistemas son sostenibles cuando son socioecológicamente resilientes (Folke, 2006; Holling, 2001; Perrings, 1998; Salas-Zapata et al., 2011, 2012).

Así pues, se puede decir que un agroecosistema es “resiliente”, cuando es capaz de seguir produciendo alimentos, frente al desafío de la ocurrencia de eventos climáticos extremos, deterioro de los recursos naturales, así como los cambios sociales y económicos. Los autores Altieri & Nicholls (2013) exigen un nuevo paradigma para mejorar la sostenibilidad de los agroecosistemas ganaderos de latinoamerica, basado en el aumento de la diversidad vegetal y la biomasa, la protección y restauración de los suelos, la protección de los recursos hídricos y el aumento de la productividad ganadera.

De acuerdo con Toro-Mújica et al. (2011) y Lebacqz et al. (2012), para efectos de este estudio la resiliencia/sostenibilidad de los agroecosistemas ganaderos se define teniendo en cuenta tres dimensiones: La dimensión ambiental, que se basa en el uso racional y eficiente de los recursos naturales que interactúan en el sistema para mejorar la capacidad de absorción del sistema a las perturbaciones externas y el mantenimiento de la base de los recursos naturales para garantizar los servicios ecosistémicos. La dimensión económica, busca que esta actividad sea rentable y contribuya con la reducción de la pobreza, la seguridad



alimentaria y, por ende, el mejoramiento de la calidad de vida de los productores (Torres-Jara de García et al., 2023). Finalmente, la dimensión social, considera la capacidad adaptativa de los hogares campesinos para responder ante las amenazas que afrontan los agroecosistemas ganaderos, con el fin de crear cambios favorables en su estado. Por tanto, se consideran aspectos como equidad participativa y distribución de recursos, satisfacción de servicios sociales básicos, conocimiento e innovación, diversificación de los medios de vida, así como los mecanismos de organización social y gobernanza (Marandure et al., 2017; Rivera et al., 2017).

Indicadores para evaluar los agroecosistemas ganaderos vacunos

Los resultados de la revisión sistemática proponen la utilización de indicadores multidimensionales para abordar la evaluación integral de la sostenibilidad de los agroecosistemas ganaderos vacunos, los cuales se pueden integrar en cuatro dimensiones principales: ambiental, económica, sociocultural y técnico-productiva. Aunque esta última no es un pilar de la sostenibilidad, su evaluación es importante para describir el agroecosistema (da Silva & Gameiro, 2022; Ferguson et al., 2013; Sarandón & Flores, 2009).

Autores como Motta-Delgado et al. (2019); Silva-Cassani et al. (2022) y Van-Heurck et al. (2020) proponen la evaluación del Bienestar Animal como una dimensión adicional de la sostenibilidad, debido a la transversalidad existente de este componente con la mitigación del impacto socioambiental y en el desarrollo productivo y económico del sistema productivo. Este artículo se centra en el análisis de los indicadores pertenecientes a las dimensiones: ambiental, social y económica. Considerando que los indicadores técnico-productivo han sido ampliamente estudiados, el estudio de estos no se incluye en el alcance de este trabajo.

Luego de la unificación de la base de datos de indicadores registrados a partir de la revisión sistemática de los 22 artículos elegibles, se compiló un total de 219 indicadores de sostenibilidad, de estos, 72 corresponden a la dimensión ambiental, de los cuales 6 evalúan el bienestar animal, 51 en a la dimensión económica y 41 en la dimensión social. En la categoría técnico-productivo se registraron un total de 55 indicadores.

A continuación, se realiza el análisis de los resultados por cada una de las dimensiones de sostenibilidad estudiadas; para efectos de los resultados solo se tuvo en cuenta tres



dimensiones (ambiental, económica y social), así como los indicadores más citados, es decir, aquellos que fueron propuestos por más de tres autores.

Dimensión ambiental

La dimensión ambiental es la más estudiada, sin embargo, los diferentes investigadores no logran consenso sobre indicadores clave para evaluarla, lo que resulta en una lista extensa de indicadores que a menudo se pueden constituir en variables para la medición del indicador, es decir, muchos de estos carecen de integralidad.

Los indicadores ambientales representan el 32.9% del total de los indicadores de sostenibilidad en la revisión sistemática; con 72 indicadores (Anexo 1). Los componentes más evaluados incluyen conservación del suelo, agua y biodiversidad, prevención de contaminación atmosférica y gestión de perturbaciones externas/adaptabilidad como entrada de químicos, manejo de plagas y diversificación de alimentación del ganado.

El componente suelo es el más evaluado dentro de la dimensión ambiental en los estudios de sostenibilidad de los sistemas ganaderos, los indicadores más citados por los diferentes autores corresponden a: prácticas de mejoramiento del suelo, nivel de erosión o pérdida de suelo y usos del suelo. Ferguson et al. (2013) y Rosales-Martínez et al. (2023) evalúan el indicador calidad del suelo, conformado por los parámetros diversidad de fauna edáfica / presencia de invertebrados, profundidad de la capa cultivable del suelo, contenido de materia orgánica y compactación.

Los indicadores más representativos para el componente agua, corresponden con: cuidado y usos del agua, proceso de eutrofización y calidad de agua; uno de los parámetros de calidad de agua comúnmente evaluados corresponde a la concentración de coliformes fecales totales.

Desde la perspectiva ambiental, conservar la biodiversidad en los agroecosistemas ganaderos es crucial para mantener la producción pecuaria y la seguridad alimentaria, haciendo más resilientes ante perturbaciones externas (Bassignana et al., 2022; Rosset & Altieri, 2018). Este componente fue evaluado por diferentes autores usando indicadores para determinar la estructura y funcionalidad del ecosistema, a partir del análisis de los elementos del paisaje, fauna y flora. Los indicadores más citados fueron: prácticas para la conservación y recuperación de áreas, riqueza y diversidad de especies claves de fauna y riqueza y



diversidad de especies de flora. Ferguson et al. (2013), Marandure et al. (2017) y Motta-Delgado et al. (2019) proponen el indicador densidad de árboles y el área basal de árboles (m^2/ha) (árboles/ha) en potreros, esto beneficia sistemas ganaderos con árboles en pastoreo, como los sistemas pastoril y holístico. Varios estudios confirman ventajas ambientales y económicas frente a aquellos basados en monocultivos de pastos (Ferguson et al., 2013; Nigh & Diemont, 2013; Sandoval et al., 2023).

Los indicadores del componente atmosférico buscan evaluar principalmente el potencial de calentamiento global de los agroecosistemas ganaderos, dentro de los que se destacan: Emisión de gases de efecto invernadero o huella de carbono (ton/ $EC02e$). Otros indicadores menos mencionados, pero que pueden ser relevantes son entrada/consumo de fósiles, consumo de energía eléctrica y Eficiencia Energética (EFE).

Se identificó un grupo de indicadores que no se categorizan en un componente ambiental específico, pero se alinean con la agroecología (Rosset & Altieri, 2018). Un indicador importante es el Biotipo animal adaptado en muchas regiones, según Rosset & Altieri (2018); los sistemas mixtos agricultura-ganadería y los animales adaptados contribuyen al manejo de las tierras y a la fertilización del suelo. Asimismo, las razas criollas y sus cruces se adaptan bien a condiciones locales y tienen resistencia a enfermedades, favoreciendo el bienestar animal (Valdivieso et al., 2019).

El uso de insumos locales y la dependencia a insumos externos muestran la autosuficiencia en sistemas agroganaderos. Los indicadores usados incluyen pesticidas, herbicidas y fertilizantes. Ferguson et al. (2013) y Nahed et al. (2019) proponen el control ecológico de malezas y plagas en pastos y cultivos, evaluando la implementación de prácticas relacionadas con gestión de recursos locales, como el manejo del pastoreo para control de malezas y uso de la biodiversidad para el manejo de plagas, en contraste con autores que evalúan solo la utilización de herbicidas y pesticidas.

Indicadores como la gestión del sistema de pastoreo, que incorpora variables como la rotación de pastos, asociación de cultivos forrajeros y sistemas silvopastoriles (Ferguson et al., 2013; Nahed et al., 2016; Valdivieso et al., 2019) y la degradación de pasturas (Motta-Delgado et al., 2019; Torres-Jara de García et al., 2023) evalúan la función de soporte de los servicios ganaderos para la producción a largo plazo, lo cual refleja la fragilidad del agroecosistema.

Bienestar Animal

El bienestar animal es importante en las evaluaciones de sostenibilidad en agroecosistemas ganaderos lecheros y de doble propósito. Da Silva & Gameiro (2022) y Sulfiar et al. (2022) evalúan este aspecto desde la dimensión social debido a las exigencias de la sociedad sobre prácticas de comercio justo y consciente, relacionadas con el trato animal y las condiciones para el manejo del ganado. Silva-Cassani et al. (2022) consideran el estudio del bienestar animal como una dimensión adicional de la sostenibilidad, debido a su correlación con la mitigación del impacto socioambiental y el efecto comprobado en el desarrollo del sistema ganadero; esta apreciación va de la mano con lo expuesto por Kido-Cruz et al. (2024), que mencionan que el bienestar animal no es solo un tema ético, su ausencia afecta la inocuidad y calidad de los productos, aumenta los costos y reduce la productividad en actividades pecuarias.

Los indicadores mayormente evaluados relacionados con el bienestar animal corresponden con la prevención de enfermedades del ganado, el cual incorpora categorías como la atención veterinaria y profilaxis (administración de vacunas obligatorias, alopatía, tratamiento de parásitos internos, control químico de garrapatas, animales en cuarentena). La mortalidad de terneros, vacas y ganado maduro (%/año) y la calidad e inocuidad del producto alimenticio, el cual tiene en cuenta aspectos relacionados con el control higiénico y sanitario, así como control en el suministro de químicos veterinarios al animal.

Silva-Cassani et al. (2022) proponen la evaluación del bienestar animal, a través del índice Welfare Quality® (WQ) para la evaluación del ganado lechero adaptado a condiciones de ganadería extensiva. En ese sentido, la evaluación se realiza a través de la integración de los indicadores de buena alimentación, buena salud y comportamiento animal adecuado. Asimismo, Nahed et al. (2016) y Valdivieso et al. (2019) evalúan el bienestar animal de forma integral enmarcado en el Índice de Conversión a Ganadería Orgánica (OLCI) adaptado para la producción ganadera de (Nahed-Toral et al., 2013), a través de cinco variables como la lactancia, espacio del animal para el pastoreo y en recintos techados, buena alimentación, exposición de los animales a las inclemencias del tiempo e implementación de prácticas como cortar los cuernos de los animales jóvenes y de los animales más viejos.

Dimensión económica

La evaluación de la dimensión económica se basó principalmente en el análisis de la rentabilidad y eficiencia económica de la producción: cuya medición se propone en términos de ingresos, utilidad o margen de ganancia, rentabilidad/relación costo beneficio y costos de producción; estos generalmente son cuantitativos y monetarios y como ventaja se tiene que para la mayoría existen estándares de referencia (Lebacqz et al., 2012).

La dimensión económica está enfocada mayoritariamente en evaluaciones técnico-productivas, que si bien se relacionan no corresponden al enfoque preciso de la dimensión. La sobrecarga de información técnica productiva en estudios de sostenibilidad, refleja el interés de los investigadores en estudiar los sistemas ganaderos para optimizar la productividad. Sin embargo, un sistema puede llegar a ser productivo, pero no significa que sea rentable y sostenible. Un sistema agrícola es económicamente sostenible cuando los agricultores y otros inversores obtienen ingresos razonables suficientes para remunerar los recursos productivos (da Silva & Gameiro, 2022; Zira et al., 2023).

La dimensión económica representa más del 23% de los indicadores de sostenibilidad, con un total de 51 indicadores categorizados en siete componentes. Los indicadores más relevantes corresponden a los componentes: autosuficiencia, costos, rentabilidad, estabilidad/resiliencia económica (**Anexo 2**).

La autosuficiencia en términos económicos refleja la capacidad del agroecosistema de hacer frente a los cambios del mercado externo, para seguir alcanzando unos niveles óptimos de seguridad económica. En ese sentido, el indicador gastos en alimentación externa y en general gastos incurridos en insumos externos, representan el grado de dependencia económica del sistema respecto a disponibilidad y precios volátiles del mercado de agroinsumos. Por otro lado, el acceso al capital representa una fuente de ingreso que contribuye con el desarrollo de la unidad productiva, demostrando la capacidad de autogestión del agroecosistema.

Desde el punto de vista socioeconómico, la diversificación productiva y la variación de las fuentes de ingresos, contribuyen a garantizar una mayor resiliencia de la explotación ganadera (Bassignana et al., 2022); esto refleja la importancia de la agrobiodiversidad, teniendo en cuenta que un sistema ganadero diverso (producción mixta) puede tener suficientes



entradas monetarias y proporcionar ingresos cuando la productividad animal disminuya (Alary et al., 2022).

Los resultados dan muestra de la existencia de un vacío con respecto a la determinación de costos de la producción ganadera, ya que no se tiene en cuenta dentro de la matriz el costo del uso de los recursos naturales, es decir, no se tienen en cuenta las externalidades ambientales y sociales de la actividad económica. Existen metodologías que permiten calcular el costo real de las producciones, basadas en funciones de daño o rutas de impacto, que busca identificar y cuantificar los impactos producidos para asignar posteriormente valores en unidades monetarias y calcular el costo real, permitiendo la asignación de un valor a las externalidades (López-Daza & Perdomo-Barrero, 2016). Solo dos autores de los 22 que se incluyeron en la revisión sistémica propusieron un indicador asociado al pago por servicios ambientales (da Silva & Gameiro, 2022 y Motta, Ocaña & Rojas, 2019).

Dimensión social

La dimensión social es la menos estudiada, el rezago de la investigación social en evaluaciones de sostenibilidad puede obedecer a que los científicos e interesados, no logran establecer de manera clara las diferencias entre productividad, economía y sociedad (da Silva & Gameiro, 2022). La forma de evaluación de estos indicadores representa otro punto de discrepancia, la mayoría de los indicadores asociados a esta dimensión suelen representarse de forma cualitativa o por medio de una encuesta y, como tal, no reflejan de manera clara la interrelación de la unidad productiva con el productor (Duval et al., 2021; Lebacqz et al., 2012; Riera et al., 2023).

La dimensión social representa menos del 19% de los indicadores de sostenibilidad, con un total de 41 indicadores categorizados en 4 componentes principales: bienestar humano, equidad, capacidad adaptativa y autogestión. Dentro de esta dimensión se resaltan 14 indicadores de mayor relevancia para los autores (**Anexo 3**).

La participación social y la autogestión comunitaria son canales para promover el desarrollo comunitario (Richard et al., 2019; Torres-Jara de García et al., 2023), las organizaciones de productores son una red de apoyo colectivo que genera sinergias para el desarrollo de sistemas productivos, contribuyendo con la autogestión de intereses comunes.



Las subvenciones y/o ayudas gubernamentales, que representan el acceso de pequeños y medianos productores ganaderos a ayudas monetarias o en especie por parte del gobierno, en el marco de políticas públicas que buscan mitigar las limitantes del sector agropecuario, relacionadas con los altos costos de los agroinsumos, limitaciones en el acceso a tierras y débil implementación de paquetes tecnológicos. Ahora bien, desde el punto de vista económico, las subvenciones financieras pueden incidir en los reportes de rentabilidad, esto se debe a que generalmente los productores lo perciben como ingresos y no como inversión (Marandure et al., 2017).

El bienestar humano asociado al nivel de acceso a necesidades básicas representa una medida directa del estado/calidad del desarrollo humano de las familias ganaderas. Así mismo la evaluación de las condiciones óptimas de trabajo de los ganaderos, refleja una medida de la equidad en el sector.

Duval et al. (2021), Lebacq et al. (2012), Riera et al. (2023), Silva-Cassani et al. (2022) y Torres-Jara de García et al. (2023), entre varios más, coinciden en que el nivel educativo es uno de los indicadores de mayor relevancia al momento de evaluar la sostenibilidad social de los agroecosistemas ganaderos, teniendo en cuenta que un bajo nivel educativo, puede incidir en una baja capacidad de los agricultores para la adopción de innovaciones tecnológicas y demás estrategias de respuesta para mejorar la sostenibilidad global del sistema productivo, reflejando la vulnerabilidad social de las familias ganaderas.

El indicador de carga de trabajo es uno de los más debatidos por los autores, puesto que no se debe evaluar en forma de eficiencia sino con medidas asociadas a la calidad de vida y el tiempo libre (Duval et al., 2021; Lebacq et al., 2013). Por otro lado, las discusiones sobre género parecen ser algo que apenas se está visualizando, sin embargo, hablar de las mujeres administradoras o de sus labores dentro de la unidad productiva refleja los cambios en las sociedades tradicionales; las edades y el género pueden contribuir significativamente en hogares vulnerables (Opiyo et al., 2014). La transmisibilidad generacional podría ser entendida de forma multidimensional, en una perspectiva económica sería la probabilidad de que las siguientes generaciones puedan continuar con la unidad productiva; en un enfoque social como es aquí presentado, se visualiza como una fuente de trabajo y de ingreso familiar. El nivel de autosuficiencia alimentaria es un indicador clave para evaluar en los hogares de pequeños productores ganaderos, entendiendo que un sistema productivo sostenible, debe



tener la capacidad de auto proveer alimentos suficientes y de calidad para las familias campesinas. Según Marandure et al. (2017), una estrategia adaptable para favorecer el acceso a alimento consiste en la producción integrada cultivo y ganadería. Así mismo, la diversificación de productos ganaderos podría contribuir a la autosuficiencia alimentaria.

En términos generales existen una serie de problemáticas asociadas con esta dimensión; Duval et al. (2021) plantea los siguientes cuestionamientos: la primera, es la falta de información al respecto y lo poco relevante en las discusiones de los autores que hablan sobre sostenibilidad; segundo, plantea que es difícil comparar resultados entre diferentes estudios; tercero, el vacío en la literatura acerca del bienestar humano; y finalmente, esta dimensión se evalúa en relación con temas ambientales y económicos asociados mayormente a la eficiencia, la capacidad adaptativa y estabilidad del sistema. En esta misma línea, da Silva & Gameiro (2022) indican que la falta de consenso de la comunidad científica y los agricultores en estos temas son un reflejo de la falta de conocimiento de la dimensión.

En gran medida, los artículos analizados en esta revisión evaluaron la sostenibilidad a partir de la selección de indicadores multidimensionales de forma desarticulada, sin establecer un marco de referencia claro respecto a la sostenibilidad de los agroecosistemas ganaderos. En menor medida, otros autores, realizaron la definición de los indicadores de sostenibilidad a partir de marcos de referencias existentes, dentro de los que se destacan, el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad - MESMIS (Silva-Cassani et al., 2022), Evaluación de la Sostenibilidad de los Sistemas Alimentarios y Agrícolas (SAFA) (Hanisch et al., 2019) y el Índice de conversión orgánica (OCI) (Ferguson et al., 2013; Nahed et al., 2016; Valdivieso et al., 2019). En los estudios anteriores, se logró evidenciar mayor articulación entre los elementos evaluados y los elementos críticos de sostenibilidad identificados para este tipo de sistemas.

A nivel general, se identificaron indicadores que van desde los más simplistas (i.e. uso de pesticidas, ingresos agrícolas, acceso a información), que son de fácil medición, generalmente a partir de metodologías cualitativas (encuestas, entrevistas, observación y otros), pero que presentan un nivel alto de flexibilidad y subjetividad. En otro extremo, se identificaron indicadores más integradores (i.e. Índice de calidad de agua, rentabilidad, calidad de vida), los cuales requieren de métodos de medición más robustos, generalmente

cuantitativos (a través de muestreo en campo, estimación de inventarios, estados financieros u otros), los cuales determinan el estado real o la calidad del aspecto evaluado.

Las principales limitantes identificadas en la base de datos de indicadores de sostenibilidad compiladas en esta revisión, fueron: (a) la variación o personalización de los nombres utilizados por los autores para mencionar indicadores análogos según su descripción; (b) la dificultad de categorizar algunos indicadores en una dimensión específica de sostenibilidad, teniendo en cuenta la complejidad y transversalidad que representan algunos componentes evaluados en los agroecosistemas ganaderos y (c) la brecha existente respecto al acceso a información, partiendo de indicadores que son de muy fácil medición, pero que presentan poca relevancia, hasta indicadores de mayor relevancia, que requieren métodos de medición más robustos, por ende, se tiene menor disponibilidad de su información.

Propuesta de indicadores sistémicos para evaluar la sostenibilidad de los agroecosistemas ganaderos

A partir de la revisión sistemática de la literatura relacionada, se propone una lista de indicadores estratégicos de sostenibilidad para la evaluación de los agroecosistemas ganaderos vacunos con un enfoque holístico, como lo proponen Sarandón & Flores (2009). Estos indicadores pueden ser adaptados a los diferentes estudios de sostenibilidad para la ganadería basada en pastos (Tabla 1).

Los criterios para seleccionar los indicadores estratégicos fueron: agroecosistemas ganaderos basados en pastos, integradores/sistémicos, claros o fáciles de comprender, sensibles a los cambios del sistema (manejo, clima, plagas y perturbaciones) y que permita su medición/seguimiento a través del tiempo, según lo propuesto por Motta-Delgado et al. (2019).

Tabla 1.

Indicadores de sostenibilidad propuestos

Indicador	Componente	Dimensión	Descripción
Cuidado y usos del agua	Agua	Ambiental	Usos agrícolas, proporción de propiedades que protegen las fuentes de agua

Indicador	Componente	Dimensión	Descripción
Proceso de eutrofización	Agua	Ambiental	Crecimiento de nutrientes/ Límite estándar para la ganadería
Huella de Carbono	Aire/GEI	Ambiental	Emisiones de gases de efecto invernadero
Consumo de combustibles fósiles	Aire/GEI	Ambiental	Litros utilizados por hectárea (L/ha)
Proporción de uso de energía renovable	Aire/GEI	Ambiental	Consumo energía renovable (%)
Biotipo animal adaptado	Amenazas externas	Ambiental	Genética del animal
Uso de agroquímicos/Reducción de entradas químicas	Amenazas externas	Ambiental	Evaluación de la cantidad de cada agroquímico usado y su proporción por hectárea
Control ecológico de malezas en pastos y cultivos	Amenazas externas	Ambiental	Prácticas no invasivas
Control ecológico de plagas en pastos y cultivos	Amenazas externas	Ambiental	Prácticas no invasivas
Prevención de enfermedades del ganado	Bienestar animal	Ambiental	Asistencia veterinaria
Bienestar de los animales	Bienestar animal	Ambiental	Protección de los animales, calidad de vida, calidad del espacio, calidad de la alimentación
Mortalidad de terneros y vacas (%/año)	Bienestar animal	Ambiental	Mortalidad del animal/ año
Prácticas para la conservación y recuperación de áreas	Ecosistemas	Ambiental	Reservas forestales y porcentaje de área en conservación
Riqueza y abundancia de especies de fauna: diversidad	Fauna	Ambiental	Fauna (número de individuos/ número de especies)

Indicador	Componente	Dimensión	Descripción
Densidad de árboles > 25 cm de altura (Número de individuos/ha)	Flora	Ambiental	Densidad de árboles en el área
Prácticas de mejoramiento del suelo	Suelo	Ambiental	Fertilizantes químicos u orgánicos, sistema de pastoreo
Erosión	Suelo	Ambiental	Basado en la percepción
Salud del suelo	Suelo	Ambiental	Diversidad de la edafofauna, contenido de carbono o materia orgánica, profundidad efectiva, humedad
% Gastos de suministros externos	Autosuficiencia	Económico	Gastos totales destinados a la compra de productos externos
Autosuficiencia económica	Autosuficiencia	Económico	Grado de dependencia de otras fuentes de ingreso
Costo de producción	Costos	Económico	Gasto total de la unidad productiva
Diversificación productiva	Estabilidad/resiliencia económica	Económico	Variedad de productos generados por la unidad productiva
Rentabilidad	Rentabilidad	Económico	Ingreso de la unidad productiva
Relación costo/beneficio (+)	Rentabilidad	Económico	Índice porcentual
Valoración económica de SSE	Servicios ecosistémicos	Económico	Valor económico de los servicios ecosistémicos
Autogestión comunitaria y participación social	Autogestión	Social	Estructuras, organizaciones y participación comunitaria
Disponibilidad de agua segura	Bienestar humano	Social	Acceso a agua potable
Calidad de vida	Bienestar humano	Social	Acceso a las necesidades básicas/ Reportes del campesino en cambios positivos o negativos en la calidad de vida o salud
Nivel educativo alcanzado	Bienestar Humano	Social	Nivel educativo alcanzado

Indicador	Componente	Dimensión	Descripción
Salud en el Hogar	Bienestar Humano	Social	Acceso a servicios de salud
Autosuficiencia alimentaria	Bienestar humano	Social	Acceso a los alimentos en el hogar provenientes de las unidades productivas
Prestaciones sociales	Bienestar humano	Social	Acceso de los trabajadores a las prestaciones sociales de Ley
Administración ecológica	Capacidad adaptativa	Social	Prácticas sustentables y agroecológicas
Acceso a asistencia técnica agropecuaria	Capacidad adaptativa	Social	Integración del conocimiento agrícola/ Participación en capacitación de agricultores
Generación de empleo	Equidad	Social	Nivel de contratación de mano de obra dentro de la unidad productiva
Nivel salarial	Equidad	Social	Salario mensual de todos los trabajadores
Equidad de género y empoderamiento femenino	Equidad	Social	Participación y empoderamiento femenino en las actividades productivas
Seguridad y salud en el trabajo	Equidad	Social	Salud y seguridad humana
Carga de trabajo	Equidad	Social	Nivel de carga de trabajo
Subvenciones y ayudas gubernamentales	Estabilidad	Social	Ausencia/presencia de apoyo gubernamental

Fuente: elaboración propia



Conclusiones

Existe un desequilibrio en la cantidad de indicadores propuestos para evaluar la sostenibilidad en agroecosistemas ganaderos, siendo la dimensión ambiental la más estudiada y la social la menos explorada.

La diversidad en los agroecosistemas ganaderos es clave para mejorar la resiliencia, manteniendo relaciones socio-ecológicas que aseguran la prestación de servicios ecosistémicos y que implementen la adaptación genética.

La falta de consenso metodológico para seleccionar indicadores de sostenibilidad en la ganadería vacuna refleja la necesidad de un marco flexible y participativo que permita integrar todos los aspectos del sistema.

Referencias

- Alary, V., Lasseur, J., Frija, A., & Gautier, D. (2022). Assessing the sustainability of livestock socio-ecosystems in the drylands through a set of indicators. *Agricultural Systems*, 198, 103389. ScienceDirect. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103389>
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2013). Agroecología y resiliencia al cambio climático: Principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología*, 8(11), 7-20. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/182921>
- Angón, E., García, A., Perea, J., & Barba, C. (2016). Evaluación de la sostenibilidad en sistemas ganaderos. *Ambienta*, 116, 82-89.
- Banco Mundial (2022). Acción de Mitigación Nacionalmente Apropriada NAMA: De La Ganadería Bovina Sostenible en Colombia. Agriculture and Food PG LAC (SLCAG). 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.
- Barrera, J. F., Herrera, J., & Gómez, J. (2007). Riesgo-vulnerabilidad hacia la broca del café bajo un enfoque de manejo holístico. (Pp. 131-141) In Barrera, J. F., García, A., Domínguez, V., & Luna, C. (eds.). *La broca de café en América tropical: hallazgos y enfoques*. Tapachula, Chiapas, México: El Colegio de la Frontera Sur.
- Bassignana, C. F., Merante, P., Bellière, S. R., & Vazzana, C. (2022). Assessment of Agricultural Biodiversity in Organic Livestock Farms in Italy. *Agronomy*, 12(3), 607.
- DANE. (2020). Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) 2019. Boletín Técnico. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/encuesta-nacional-agropecuaria-ena>
- da Silva, M. F., & Gameiro, A. H. (2022). Sustainability indicators for Brazilian dairy livestock: the perception of professionals in the sector. *Animal production systems and agribusiness*, 51, 20210049. <https://doi.org/10.37496/rbz5120210049>

Duval, J., Cournut, S., & Hostiou, N. (2021). Livestock farmers' working conditions in agroecological farming systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(22), 1-10. <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00679-y>

FAO. (2012). FAO: La ganadería y sus desafíos en América Latina y el Caribe. *Agronews*. <https://www.agronewscastillayleon.com/fao-la-ganaderia-y-sus-desafios-en-america-latina-y-el-caribe>

FAO. (2018). Cambio climático y seguridad alimentaria y nutricional América Latina y el Caribe (gestión del riesgo de desastres en el sector agrícola). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Santiago, Chile.

FAO. (2021). Hacia una agricultura sostenible y resiliente en América Latina y el Caribe: Análisis de siete trayectorias de transformación exitosas. Food & Agriculture Org. <https://doi.org/10.4060/cb4415es>

FAO. (2023). Pathways towards lower emissions: A global assessment of the greenhouse gas emissions and mitigation options from livestock agrifood systems. Food & Agriculture Org. <https://doi.org/10.4060/cc9029en>

Federación Colombiana de Ganaderos - Fedegan. (2014). Bases para la formulación del plan de acción 2014 – 2018 para el mejoramiento de la ganadería en el departamento de Córdoba. Federación Colombiana de Ganaderos (Fedegán) – Fondo Nacional del Ganado, Montería, Córdoba

Federación Colombiana de Ganaderos-Fedegan. (2022). Cifras de referencia del sector ganadero. Fedegan. <https://www.fedegan.org.co/estadisticas/documentos-de-estadistica>

Ferguson, B. G., Diemont, S. A.W., Alfaro-Arguello, R., Martin, J. F., Nahed-Toral, J., Álvarez-Solís, D., & Pinto-Ruíz, R. (2013). Sustainability of holistic and conventional cattle ranching in the seasonally dry tropics of Chiapas, Mexico. *Agricultural Systems*, 120, 38-48. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.05.005>

- 
- Folke, C. (2006). Resilience: The emergence of a perspective for social–ecological systems analyse. *Global Environmental Change*, 16(3), 253-267. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002>
- Gazzano, I., Altieri, M. A., Achkar, M., & Burgueño, J. (2015). Holistic Risk Index: A Case Study of Cattle Producers in the Protected Area of Farrapos Estuaries—Uruguay. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 39(2), 209-223. DOI: <https://doi.org/10.1080/21683565.2014.967439>
- Gómez Villalva, J., Cobos Mora, F., & Hasang Moran, E. (2019). Sostenibilidad de los sistemas de producción de ganadería extensiva. *Journal of Science and Research*, 4, 180-195. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3594078>
- Hanisch, A. L., Negrelle, R. R. B., Araújo-Bonatto, R., Nimmo, E. R., & Biscaia-Lacerda, A. E. (2019). Evaluating Sustainability in Traditional Silvopastoral Systems (caívas): Looking Beyond the Impact of Animals on Biodiversity. *Sustentability*, 11, 3098.. <https://doi.org/10.3390/su11113098>
- Henao-Salazar, A. (2013). Propuesta metodológica de medición de la resiliencia agroecológica en sistemas socio-ecológicos: un estudio de caso en los Andes colombianos. *Agroecología*, 8(1), 85–91. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/183031>
- Holling, C. S. (2001). Understanding the Complexity of Economic, Ecological, and Social Systems. *Ecosystems*, 4, 390–405.
- Ibarra-Vrska, I. P. (2019). Agricultura regenerativa y el problema de la sustentabilidad: Aportes para una discusión. *Textual*, 74, 51–85. <http://dx.doi.org/10.5154/r.textual.2019.74.02>
- IDEAM. (2016). Inventario nacional y departamental de Gases de Efecto Invernadero. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). Bogotá D.C., Colombia.



IDEAM. (2023). Estudio Nacional del Agua 2022. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá D.C., Colombia.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. (2023). Actualización de cifras de monitoreo de la superficie de bosque. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Kido-Cruz, M. T., Martínez-Castro, C. J., Zúñiga-Marroquín, T., & Cotera-Rivera, J. (2024). Estimación del bienestar animal del bovino lechero en trópico, mediante criterios de acondicionamiento ambiental. *Revista MVZ Córdoba*, 27(3), (e2676).
<https://doi.org/10.21897/rmvz.2676>

Lebacqz, T., Baret, P. V., & Stilmant, D. (2012). Sustainability indicators for livestock farming. A review. *SusAgronomy for Sustainable Development*, 33, 311-327.
<https://doi.org/10.1007/s13593-012-0121-x>

López-Daza, J. L., & Perdomo-Barrero, E. (2016). Cuantificación económica de las externalidades ambientales en un sistema de producción lechero en la finca Santa María del Puyón en Sopo-Cundinamarca. Tesis. Universidad de La Salle.

Machado-Vargas, M. M. (2016). Evaluación de los niveles de riesgo/resiliencia socioecológica en pequeños caficultores de la Cuenca del Río Porce, Antioquia, Colombia. [Tesis doctoral], Universidad de Antioquia.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible-MADS. (2016). Política Nacional para la Gestión Sostenible del Suelo.

Marandure, T., Mapiye, C., Makombe, G., & Dzama, K. (2017). Indicator-based sustainability assessment of the smallholder beef cattle production system in South Africa. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 41(1), 3-29.
<http://dx.doi.org/10.1080/21683565.2016.1231152>

Meadows, D. (1998). Indicators and Information Systems for Sustainable Development. A Report to the Balaton Group. The Sustainability Institute. Hartland, U.S.
<https://donellameadows.org/wp-content/userfiles/IndicatorsInformation.pdf>



Michigan State University. (2015). Decision Support and Informatic. Global Center for Food System Innovation, USAID & U.S. Global Development Lab. <http://dsiweb.cse.msu.edu/>

Montalba, R., García, M., Altieri, M., Fonseca, F., & Vieli, L. (2013). Utilización del índice holístico de riesgo (IHR) como medida de resiliencia socioecológica a condiciones de escasez de recursos hídricos. aplicación en comunidades campesinas e indígenas de la Araucanía, Chile. *Agroecología*, 8(1), 63-70. <https://n9.cl/5i1vp>

Motta-Delgado, P. A., Ocaña Martínez, H. E., & Rojas-Vargas, E. P. (2019). Indicadores asociados a la sostenibilidad de pasturas: una revisión. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 20(2), 387-408. <https://doi.org/10.21930/rcta.vol20num2art:1464>

Murgueitio, E. (1999). Reconversión ambiental y social de la ganadería bovina en Colombia. *Revista Mundial de Zootecnia*, 93(2), 2-15.

Murgueitio, E., Chará, J., Barahona, R., & Rivera, J. E. (2019). Development of sustainable cattle rearing in silvopastoral systems in Latin America. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 53(1), 65-71.

Nahed, J., González-Pineda, S., Grande, D., Aguilar, J. R., Sánchez, B., Ruiz-Rojas, J. L., Guevara-Hernández, F., Martínez, N. L., Trujillo-Vázquez, R. J., & Parra Vázquez, A. R. (2019). Evaluating sustainability of conventional and organic dairy cattle production units in the Zoque Region of Chiapas, Mexico. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 43(6), 605-638. <https://doi.org/10.1080/21683565.2018.1534302>

Nahed, J., Grande, D., Aguilar, J. R., & Sánchez, B. (2016). Possibilities for converting conventional cattle production to the organic model in the Grijalva River Basin, Mexico. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1), 1153767. <https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1153767>

Nahed-Toral, J., Sánchez-Muñoz, B., Mena, Y., Ruiz-Rojas, J., Aguilar-Jiménez, R., Castel, J. M., de Asis-Ruiz, F., Orantes-Zebadua, M., Manzur-Cruz, M., Cruz-López, J., &

- 
- Delgadillo-Puga, C. (2013). Feasibility of converting agrosilvopastoral systems of dairy cattle to the organic production model in southeastern Mexico. *Journal of Cleaner Production*, 43, 36e145.
- Nicholls, C. I., Henao, A., & Altieri, M. A. (2015). Agroecología y el diseño de sistemas agrícolas resilientes al cambio climático. *Agroecología*, 10(1), 7-31.
- Nigh, R., & Diemont, S. A. (2013). The Maya milpa: fire and the legacy of living soil. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(45-e54).
<https://doi.org/10.1890/120344>
- Opiyo, F. E., Wasonga, O. V., & Nyangito, M. M. (2014). Measuring household vulnerability to climate-induced stresses in pastoral rangelands of Kenya: Implications for resilience programming. *Pastoralism: Research, Policy and Practice*, 4(10), 1-14.
<http://www.pastoralismjournal.com/content/4/1/10>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *International Journal of Surgery*, 88, 105906. <https://doi.org/10.1016/j.ijssu.2021.105906>
- Pardal-Refoyo, J. L., & Pardal-Peláez, B. (2020). Anotaciones para estructurar una revisión sistémica. *ORI*, 11(2), 155-160. DOI: <https://doi.org/10.14201/orl.22882>
- Perrings, C. (1998). Introduction: resilience and sustainability. *Environ. Dev. Eco*, 3, 221-222.
- Pinheiro, L. (2004). *Pastoreo Racional Voisin*. Uruguay: Hemisferio Sur
- Richard, D., Alary, V., Corniaux, C., Duteurtre, G., & Lhoste, P. (Eds.). (2019). *Dynamique des élevages pastoraux et agropastoraux en Afrique intertropicale*. Quae éditions.
<https://doi.org/10.35690/978-2-7592-2895-9>

- 
- Riera, A., Duluins, O., Schuster, M., & Baret, P. V. (2023). Accounting for diversity while assessing sustainability: insights from the Walloon bovine sectors. *Agronomy for Sustainable Development*, 43(30), 1-20. <https://doi.org/10.1007/s13593-023-00882-z>
- Rivera, J., Molina, I., Chará, J., Murgueitio, E., & Barahona, R. (2017). Intensive silvopastoral systems with *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit: productive alternative in the tropics in view of climate change. *Pastos y Forrajes*, 40, 159-170.
- Rojas-Downing, M., Pouyan Nejadhashemi, A., Harrigan, T., & Woznicki, S. A. (2017). Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. *Climate Risk Management*, 16, 145-163. ScienceDirect. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2017.02.001>
- Rosales-Martínez, V., Bautista-Valente, Á. d. J., Peláez-Estrada, U. V., Valenzuela-Lagarda, J. L., Herrera-González, B., & Cisneros-Saguilán, P. (2023). A comprehensive case study on the sustainability of tropical dairy cattle farming in Oaxaca, Mexico. *Ciência Rural*, 53(11); e20210026. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210026>
- Rosset, P., & Altieri, M. (2018). *Agroecología: ciencia y política*. Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología SOCLA.
- Salas-Zapata, W. A., Ríos-Osorio, L. A., & Álvarez-del Castillo, J. (2012). Marco conceptual para entender la sustentabilidad de los sistemas socioecológicos. *Ecología austral*, 22, 74-79.
- Salas-Zapata, W. A., Ríos-Osorio, L. A., & Álvarez del Castillo, X. (2011). Bases conceptuales para una clasificación de los sistemas socioecológicos de la investigación en sostenibilidad. *Revista Lasallista de investigación*, 8(2), 136-142.
- Sandoval, D. F., Florez, J. F., Enciso-Valencia, K. J., Sotelo-Cabrera, M. E., & Stefan, B. (2023). Economic-environmental assessment of silvo-pastoral systems in Colombia: An ecosystem service perspective. *Heliyon*, 9(19082), 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19082>

Sarandón, S. J., & Flores, C. C. (2009). Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas: Una propuesta metodológica. *Agroecología*, 4, 19–28. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/117131>

Sarandón, S. J., & Flores, C. C. (2014). *Agroecología. D - Editorial de la Universidad Nacional de La Plata.*

Serrano-Martínez, E., & Ruiz-Mantecón, Á. (2003). Bases para un desarrollo ganadero sostenible: la consideración de la producción animal desde una perspectiva sistémica y el estudio de la diversidad de las explotaciones. *Estudios Agrosociales y Pesqueros*, 199, 159-191.

Silva-Cassani, N., Mancera, K. F., Canul, J., Ramírez-Aviles, L., Solorio, J., Güereca, P., & Galindo, F. (2022). Evaluation of the sustainable performance of native and intensive silvopastoral systems in the mexican tropics using the mesmis framework. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25(120), 1-22. <http://doi.org/10.56369/tsaes.3556>

Smith, O. H., Petersen, G. W., & Needelman, B. A. (1999). Environmental Indicators of Agroecosystems. *Advances in Agronomy*, 69, 75-97. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60947-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60947-5)

Sulfiar, A. E. T., Guntoro, B., Atmoko, B. A., & Budisatria, I. G. S. (2022). Sustainability of beef cattle farming production system in South Konawe Regency, Southeast Sulawesi. *Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture JITAA*, 47(2), 155-165. Scopus. <https://doi.org/10.14710/jitaa.47.2.155-165>

Toro-Mújica, P., García, A., Gómez-Castro, A. G., Acero, R., Perea, J., & Rodríguez-Estévez, V. (2011). Sustentabilidad de agroecosistemas. *Archivos de Zootecnia*, 60, 15-39.

Torres Jara de García, G. P., Durand-Chávez, L. M., Quispe-Casa, H. A., Linares-Rivera, J. L., Segura-Portocarrero, G. T., Calderón-Tito, R., Vásquez-Pérez, H. V., Maicelo-Quintana, J. L., Ampuero-Trigoso, G., Robles-Rodríguez, R. R., & Saucedo-Uriarte,



J. A. (2023). Sustainability of livestock farms: The case of the district of Moyobamba, Peru. *Heliyon*, 9(2), e13153. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13153>

Unidad de Planificación de Tierras Rurales, Adecuación de Tierras y Usos Agropecuarios - UPRA. (2020). Ordenamiento productivo y social de la propiedad rural. <https://www.upra.gov.co/uso-y-adequacion-de-tierras/ordena-miento-productivo>

Valdivieso-Pérez, I. A., NahedToral, J., Piñeiro-Vázquez, Á. T. T., Guevara-Hernández, F., Jiménez-Ferrer, G., & Grande-Cano, D. (2019). Potential for organic conversion and energy efficiency of conventional livestock production in a humid tropical region of Mexico. *Journal of Cleaner Production*, 241, 18354.

Van-Heurck, M., Alegre, J., Solís, R., Del Castillo, D., Pérez, L., Lavelle, P., & Quintero, M. (2020). Measuring sustainability of smallholder livestock farming in Yurimaguas, Peruvian Amazon. *Food and Energy Security*, 9(4), 1-13. <https://doi.org/10.1002/fes3.242>

Zira, S., Rööß, E., Rydhmer, L., & Hoffmann, R. (2023). Sustainability assessment of economic, environmental and social impacts, feed-food competition and economic robustness of dairy and beef farming systems in Southwestern Europe. *Sustainable Production and Consumption*, 36. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.01.022>

Anexos

Anexo 1

Tabla 1.

Indicadores de la dimensión ambiental

Indicador	Componente	Descripción	Autores
Cuidado y usos del agua	Agua	Priorización de los usos del agua, protección de las fuentes de agua	Hanisch et al. (2019); Maia-olimpó et al. (2022); Munyaneza et al. (2019); Otalora et al. (2021); Silva et al. (2022)
Proceso de eutrofización	Agua	Concentración de nutrientes	da Silva & Gameiro (2022); Hanisch et al. (2019); Otalora et al. (2021); Sulfiar et al. (2022); Zira et al. (2023)
Calidad del agua	Agua	Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos	da Silva & Gameiro (2022); Motta, Ocaña & Rojas (2019); Sulfiar et al. (2022); Zira et al. (2023)
Emisión de gases de efecto Invernadero/Potencial de calentamiento global	Aire	Proporción equivalente de gases de efecto invernadero	da Silva & Gameiro (2022); Duru & Theron (2014); Motta Karlsson et al. (2023); Ocaña & Rojas (2019); Otálora et al. (2021); Riera et al. (2023); Zira et al. (2023)
Presión de pastoreo	Amenazas externas	Capacidad de carga:(Unidad de gran ganado por unidad de área	Alary et al. (2022), da Silva & Gameiro (2022); Ferguson et al. (2013); Maia-Olimpo et al. (2022); Motta, Ocaña & Rojas (2019); Munyaneza et al. (2019); Riera et al. (2023); Ruggia et al. (2021); Valdivieso et al. (2019)
Biotipo animal adaptado	Amenazas externas	Razas o cruces adaptados localmente	Alary et al. (2022); Ferguson et al. (2013); Hanisch et al. (2019); Nahed et al. (2016); Nahed et al. (2018); Torres et al. (2023); Valdivieso et al. (2019)
Uso de pesticidas (L/ha)	Amenazas externas	Cantidad de pesticidas (L/ha)	da Silva & Gameiro (2022); Ferguson et al. (2013); Hanisch

Indicador	Componente	Descripción	Autores
			et al. (2019); Otálora et al. (2021); Riera et al. (2023)
Uso de agroquímicos/Reducción de entradas químicas	Amenazas externas	Cantidad de pesticidas, herbicidas y fertilizantes sintéticos usados por unidad de área	da Silva & Gameiro (2022); Duru & Theron (2014); Marandure et al. (2017); Motta, Ocaña & Rojas (2019); Silva et al. (2022)
Bienestar de los animales	Bienestar animal	Protección de los animales, calidad de vida, calidad del espacio, calidad de la alimentación	Alary et al. (2022); da Silva & Gameiro (2022); Ferguson et al. (2013); Karlsson et al. (2023); Nahed et al. (2016); Otálora et al. (2021); Silva et al. (2022); Sulfiar et al. (2022); Valdivieso et al. (2019)
Prevención de enfermedades del ganado	Bienestar animal	Profilaxis y atención veterinaria (Uso de medicina alternativa)	Alary et al. (2022); da Silva & Gameiro (2022); Ferguson et al. (2013); Hanisch et al. (2019); Maia-Olimpo et al. (2022); Nahed et al. (2016); Silva et al. (2022); Valdivieso et al. (2019)
Mortalidad de terneros y vacas (%/año)	Bienestar animal	Número de animales que mueren al año	da Silva & Gameiro (2022); Ferguson et al. (2013); Nahed et al. (2018); Sulfiar et al. (2022); Valdivieso et al. (2019)
Prácticas para la conservación y recuperación de áreas	Ecosistemas	Reservas forestales, porcentaje de área conservadas, prácticas de restauración o reforestación de áreas	Alary et al. (2022); da Silva & Gameiro (2022); Ferguson et al. (2013); Hanisch et al. (2019); Maia-Olimpo et al. (2022); Nahed et al. (2018); Otálora et al. (2021); Torres et al. (2023)
Riqueza y diversidad de especies de fauna	Fauna	Fauna (número de individuos en relación al número especies)	Marandure et al. (2017); Motta, Ocaña & Rojas (2019); Nahed et al. (2018); Silva et al. (2022);
Riqueza y diversidad de especies de flora	Flora	Flora (número de individuos en relación al número especies)	Ferguson et al. (2013); Hanisch et al. (2019); Marandure et al. (2017); Motta, Ocaña & Rojas (2019)

Indicador	Componente	Descripción	Autores
Prácticas de mejoramiento del suelo	Suelo	Fertilización química u orgánicas, gestión del pastoreo	da Silva & Gameiro (2022); Duru & Theron (2014); Ferguson et al. (2013); Hanisch et al. (2019); Marandure et al. (2017); Motta, Ocaña & Rojas (2019); Nahed et al. (2016); Nahed et al. (2018), Valdivieso et al. (2019)
Nivel de erosión o pérdida del suelo	Suelo	Proporción de tierras erosionadas en relación al área total de la unidad productiva/ Tasa de erosión anual	da Silva & Gameiro (2022); Marandure et al. (2017); Motta, Ocaña & Rojas (2019); Munyaneza et al. (2019); Nahed et al. (2018); Otálora et al. (2021); Torres et al. (2023)
Usos del suelo	Suelo	Proporción de la cubierta vegetal en relación con las diferentes actividades	Alary et al. (2022); Otálora et al. (2021); Rosales et al. (2023); Torres et al. (2023); Zira et al. (2023)

Fuente: elaboración propia

Anexo 2

Tabla 2.

Indicadores de la dimensión económica

Indicador	Componente	Descripción	Autores
Acceso a capital	Autosuficiencia	Acceso a fuentes de financiación (Préstamos o créditos bancarios)	Alary et al. (2022); Motta, Ocaña & Rojas (2019); Munyaneza et al. (2019); Torres et al. (2023)
Gastos en alimentación externa	Autosuficiencia	Proporción de gastos en alimentación externa respecto al gasto total	da Silva & Gameiro (2022); Duru & Theron (2014); Ferguson et al. (2013); Munyaneza et al. (2019); Riera et al. (2023); Valdivieso et al. (2019)
Costo de producción (pesos/año)	Costos	Gasto total de la unidad productiva	Alary et al. (2022); da Silva & Gameiro (2022); Ferguson et al. (2013); Nahed et al. (2018); Ruggia et

Indicador	Componente	Descripción	Autores
			al. (2021); Silva et al. (2022); Valdivieso et al. (2019);
Diversificación productiva	Estabilidad/resiliencia económica	Ingresos por variedad de productos generados por la unidad productiva	da Silva & Gameiro (2022); Dogliotti et al. (2014); Hanisch et al. (2019); Nahed et al. (2018); Otalora et al. (2021); Silva et al. (2022)
Rentabilidad global	Rentabilidad	Ingreso de la unidad productiva	da Silva & Gameiro (2022); Duru & Theron (2014); Hanisch et al. (2019); Karlsson et al. (2023); Otalora et al. (2021); Riera et al. (2023); Torres et al. (2023); Valdivieso et al. (2019)
Relación costo/beneficio (-/+)	Rentabilidad	Índice porcentual	da Silva & Gameiro (2022); Dogliotti et al. (2014); Motta, Ocaña & Rojas (2019); Rosales et al. (2023); Silva et al. (2022)

Fuente: elaboración propia

Anexo 3

Tabla 3.

Indicadores de la dimensión social

Indicador	Componente	Descripción	Autores
Autogestión comunitaria y participación social	Autogestión	Estructuras y organizaciones	Alary et al. (2022); Dogliotti et al. (2014); Hanisch et al. (2019); Maia-Olimpo et al. (2022); Motta, Ocaña & Rojas (2019); Munyaneza et al. (2019); Nahed et al. (2018); Silva et al. (2022); Torres et al. (2023)
Subvenciones y ayudas gubernamentales	Autogestión	Ausencia/presencia de apoyo gubernamental (producción ganadera)	Alary et al. (2022); Marandure et al. (2017); Nahed et al. (2018); Silva et al. (2022)
Calidad de vida	Bienestar Humano	Acceso a las necesidades básicas/ Reportes del campesino en cambios positivos o	da Silva & Gameiro (2022); Duru & Theron (2014); Hanisch et al. (2019), Motta, Ocaña & Rojas (2019); Torres et al. (2023)

negativos en la calidad
de vida

Nivel educativo alcanzado	Bienestar humano	Nivel educativo alcanzado	Alary et al. (2022); da Silva & Gameiro (2022); Ferguson et al. (2013); Maia-Olimpo et al. (2022); Marandure et al. (2017); Munyaneza et al. (2019); Silva et al. (2022)
Autosuficiencia alimentaria	Bienestar Humano	Acceso a los alimentos en el hogar	Alary et al. (2022); Duru & Theron (2014); Hanisch et al. (2019); Marandure et al. (2017); Motta, Ocaña & Rojas (2019); Nahed et al. (2018); Otalora et al. (2021); Valdivieso et al. (2019)
Administración ecológica	Capacidad adaptativa	Prácticas sustentables y agroecológicas	Ferguson et al. (2013); Hanisch et al. (2019); Motta, Ocaña & Rojas (2019); Munyaneza et al. (2019); Nahed et al. (2016); Ruggia et al. (2021); Valdivieso et al. (2019)
Acceso a asistencia técnica agropecuaria	Capacidad adaptativa	Integración del conocimiento agrícola/ Participación en capacitación de agricultores	Dogliotti et al. (2014); Motta, Ocaña & Rojas (2019); Munyaneza et al. (2019); Nahed et al. (2018)
Acceso a la información	Capacidad adaptativa	Acceso a internet y redes de información	Alary et al. (2022); Maia-Olimpo et al. (2022); Marandure et al. (2017); Motta, Ocaña & Rojas (2019)
Experiencia ganadera	Capacidad adaptativa	Años criando ganado	Ferguson et al. (2013); Karlsson et al. (2023); Nahed et al. (2018); Valdivieso et al. (2019)
Relevo generacional	Capacidad adaptativa	Capital dejado por heredero agrícola	Alary et al. (2022); da Silva & Gameiro (2022); Motta, Ocaña & Rojas (2019); Nahed et al. (2018); Otalora et al. (2021); Silva et al. (2022)
Seguridad y salud en el trabajo	Equidad	Acceso a salud y seguridad humana en el trabajo	da Silva & Gameiro (2022); Dogliotti et al. (2014); Hanisch et al. (2019); Zira et al. (2023)



Carga de trabajo	Equidad	Nivel de carga de trabajo	Duru & Theron (2014); Motta, Ocaña & Rojas (2019); Riera et al. (2023); Ruggia et al. (2021)
Equidad de género	Equidad de genero	Igualdad de condiciones	Hanisch et al. (2019); Marandure et al. (2017); Motta, Ocaña & Rojas (2019); Munyaneza et al. (2019); Nahed et al. (2018)

Fuente: elaboración propia

