



ISSN: 3151-8257

DOI:



Revista Internacional
MÉTRICAS
MULTIDISCIPLINARIAS

Periodicidad trimestral Octubre-Diciembre, Volumen 4, Numero 4, Años (2025), Pág. 14-27

Fecha de recepción: 2025-08-18

Fecha de aceptación: 2025-09-18

Fecha de publicación: 2025-10-18

Sistemas Silvopastoriles Y Homeorresis Ecológica En Producción De Carne Bovina Sostenible

Katherine Andrea Espin Farias

katherineespin86@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-9966-0732>

Universidad Técnica de Cotopaxi

Latacunga – Ecuador

Resumen

El crecimiento de la producción bovina en América Latina ha intensificado la presión sobre los recursos naturales, evidenciando limitaciones en la sostenibilidad de los sistemas ganaderos tradicionales. Este estudio analizó la relación entre sistemas silvopastoriles y homeorresis ecológica en la producción de carne bovina sostenible. Se utilizó un enfoque cuantitativo, con diseño no experimental transversal, empleando datos secundarios de organismos oficiales. Se aplicaron estadística descriptiva, correlación de Pearson, regresión lineal múltiple y modelos de ecuaciones estructurales. Los resultados muestran un incremento del índice de producción pecuaria entre 2018 y 2022, pero sin relación estadísticamente significativa con variables ecológicas agregadas. Se identificó una relación inversa entre cobertura forestal y superficie agrícola, evidenciando presión sobre el uso del suelo. Además, los modelos inferenciales reflejan que la sostenibilidad no se explica a nivel macro, sino que depende de procesos locales asociados a la regulación ecológica del sistema. Estos hallazgos indican que la producción bovina sostenible requiere integrar componentes arbóreos y enfoques territoriales más específicos para mejorar la resiliencia y el equilibrio ambiental.

Palabras clave: sistemas silvopastoriles, homeorresis ecológica, producción bovina, sostenibilidad, ganadería, cambio climático

Silvopastoral systems and ecological homeorhesis in sustainable beef production

Abstract

The growth of beef production in Latin America has increased pressure on natural resources, highlighting limitations in the sustainability of traditional livestock systems. This study analyzed the relationship between silvopastoral systems and ecological homeorhesis in sustainable beef production. A quantitative approach with a cross-sectional non-experimental design was used, based on secondary data from official organizations. Descriptive statistics, Pearson correlation, multiple linear regression, and structural equation modeling were applied. Results show an increase in the livestock production index from 2018 to 2022, but no statistically significant relationship with aggregated ecological variables. An inverse relationship between forest cover and agricultural land was identified, reflecting structural pressure on land use. Additionally, inferential models indicate that sustainability cannot be explained at a macro level, as it depends on local ecological regulation processes. These findings suggest that sustainable beef production requires integrating tree components and localized management approaches to enhance resilience and environmental balance.

Keywords: silvopastoral systems, ecological homeorhesis, beef production, sustainability, livestock production, climate change, agroforestry systems.

Introducción

La creciente presión sobre los sistemas ganaderos a nivel global, derivada de la intensificación productiva, el cambio climático y la degradación de los recursos naturales, ha impulsado la búsqueda de modelos alternativos que integren productividad y sostenibilidad. En este contexto, los sistemas silvopastoriles emergen como una estrategia innovadora que combina árboles, pasturas y ganado en un mismo espacio productivo, promoviendo sinergias ecológicas que optimizan el uso de los recursos y mejoran la resiliencia de los agroecosistemas (Calle et al., 2021). Estos sistemas han sido ampliamente reconocidos por su capacidad de incrementar la productividad animal, mejorar la fertilidad del suelo y contribuir a la captura de carbono, posicionándose como una alternativa viable frente a los modelos ganaderos convencionales (Murgueitio et al., 2021).

Desde una perspectiva ecológica, el concepto de homeorresis adquiere especial relevancia en el análisis de estos sistemas productivos, al referirse a la capacidad de los organismos y ecosistemas para mantener trayectorias dinámicas de equilibrio frente a perturbaciones externas. En el ámbito de la producción bovina sostenible, la homeorresis ecológica permite comprender cómo los sistemas silvopastoriles regulan procesos biológicos, energéticos y nutricionales, garantizando la estabilidad funcional del sistema productivo a largo plazo. En este sentido, la interacción entre componentes bióticos y abióticos favorece la regulación térmica del ganado, la mejora en la calidad del forraje y la optimización de los ciclos de nutrientes, elementos clave para la sostenibilidad del sistema (Navas et al., 2022).

Asimismo, diversos estudios recientes han evidenciado que la incorporación de árboles en los sistemas ganaderos no solo mejora el bienestar animal, sino que también incrementa la biodiversidad y fortalece los servicios ecosistémicos, tales como la regulación hídrica y la conservación del suelo. De acuerdo con Chará et al. (2022), los sistemas silvopastoriles permiten una mayor diversificación estructural del paisaje, lo cual se traduce en una mayor estabilidad ecológica y productiva en contextos de variabilidad climática. En esta misma línea, se ha documentado que estos sistemas

contribuyen a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, consolidándose como una estrategia clave para la mitigación del cambio climático en el sector pecuario (Murgueitio et al., 2021).

En el contexto latinoamericano, donde la ganadería bovina constituye una actividad económica estratégica, la adopción de sistemas silvopastoriles se presenta como una respuesta técnica y ambientalmente pertinente frente a los desafíos de sostenibilidad. La integración de principios agroecológicos en estos sistemas permite transitar hacia modelos productivos más eficientes, resilientes y compatibles con la conservación de los recursos naturales, reduciendo los impactos negativos asociados a la deforestación, la erosión del suelo y la pérdida de biodiversidad (Calle et al., 2021).

En este marco, esta investigación se orienta a analizar los sistemas silvopastoriles desde el enfoque de la homeorresis ecológica, con el propósito de comprender cómo estos sistemas contribuyen a la sostenibilidad de la producción de carne bovina. Se examinan las interacciones ecológicas que sustentan su funcionamiento, así como su impacto en la productividad, el bienestar animal y la conservación ambiental. El desarrollo del estudio comprende la definición del problema, la formulación de objetivos, la justificación, la construcción del marco teórico, el diseño metodológico, el análisis de resultados, la discusión de hallazgos y la elaboración de conclusiones y referencias.

Fundamentos ecológicos de los sistemas silvopastoriles en fincas bovinas de alta montaña

En una unidad ganadera de trópico alto, caracterizada por pendientes pronunciadas y variabilidad climática marcada, la incorporación de especies arbóreas dispersas en potreros destinados a la producción bovina ha permitido estabilizar la cobertura vegetal, mejorar la retención de humedad y sostener la productividad del sistema incluso en periodos de estrés hídrico, evidenciando el papel funcional de los sistemas silvopastoriles en contextos reales de producción pecuaria.

Los sistemas silvopastoriles constituyen una forma de organización productiva en la que los componentes arbóreos, herbáceos y animales interactúan como un sistema integrado que redistribuye energía, nutrientes y biomasa dentro del agroecosistema. Su valor radica en la funcionalidad de dichas interacciones, que permiten una mayor resiliencia frente a variaciones climáticas y productivas (Lerma-Lasso et al., 2023).

Desde esta perspectiva, la homeorresis ecológica puede interpretarse como la capacidad del sistema para mantener trayectorias funcionales de equilibrio dinámico frente a perturbaciones externas. Esta propiedad resulta clave en la ganadería sostenible, ya que permite reorganizar los flujos ecológicos sin comprometer la productividad del sistema (Trejo-Arista et al., 2023).

Uno de los elementos centrales de esta dinámica es la calidad del suelo. Los sistemas silvopastoriles presentan una mayor acumulación de materia orgánica y una mejor estructura edáfica, lo que favorece la fertilidad y la productividad forrajera (Contreras-Santos et al., 2023a).

El reciclaje de nutrientes mediante la hojarasca constituye otro proceso esencial, ya que incrementa el retorno de elementos minerales al suelo, reduciendo la dependencia de insumos externos (Martínez-Atencia et al., 2023).

Adicionalmente, la descomposición de la biomasa vegetal fortalece la actividad biológica del suelo, promoviendo procesos de mineralización que aseguran la disponibilidad progresiva de nutrientes (Tapia-Coronado et al., 2023).

En términos ambientales, estos sistemas incrementan el almacenamiento de carbono en biomasa y suelo, lo que contribuye a la mitigación del cambio climático (Contreras-Santos et al., 2023b).

Este proceso se articula con la reducción de emisiones y la mejora de la eficiencia ecológica del sistema, consolidando su sostenibilidad frente a modelos convencionales de producción (Contreras-Santos et al., 2021).

La selección de especies arbóreas también es determinante, ya que influye en la oferta de sombra, el aporte de biomasa y la provisión de servicios ecosistémicos (Núñez Ramos et al., 2023).

La diversificación botánica, mediante la incorporación de especies herbáceas y arbustivas, fortalece la estabilidad ecológica y la base forrajera del sistema (Lopera-Marín et al., 2023).

Asimismo, estos sistemas favorecen la conservación de la biodiversidad y la conectividad ecológica en paisajes transformados (Duque-Vélez et al., 2022).

Desde el enfoque agroecológico, los sistemas silvopastoriles representan una reorganización productiva basada en principios de diversidad, reciclaje y regulación biológica, orientada a reducir la vulnerabilidad ambiental (Ángel-Lozano et al., 2023).

Homeorresis ecológica y producción de carne bovina sostenible en arreglos con sombra, forraje y regulación microclimática

En un sistema ganadero del trópico seco, donde predominan altas temperaturas y baja disponibilidad hídrica, la introducción de árboles forrajeros y especies arbustivas ha permitido reducir el estrés térmico del ganado, mejorar la ingesta de alimento y mantener niveles estables de producción de carne, lo que demuestra cómo la regulación microclimática influye directamente en la eficiencia productiva.

La sostenibilidad de la producción de carne bovina depende de la capacidad del sistema para mantener el desempeño animal sin deteriorar la base ecológica que lo sustenta. En este contexto, la homeorresis ecológica se manifiesta en la regulación de variables microclimáticas, nutricionales y ambientales (Saucedo-Uriarte et al., 2023).

Uno de los efectos más relevantes es la mejora del confort térmico. La presencia de árboles modifica la temperatura, la radiación y la humedad relativa, generando condiciones favorables para el bienestar animal (Vargas et al., 2023).

La estructura vegetal del sistema también incide en su funcionalidad productiva. Los sistemas silvopastoriles presentan una mayor complejidad ecológica, lo que favorece la estabilidad del sistema frente a perturbaciones (Giraldo et al., 2023).

En términos nutricionales, la calidad del forraje es determinante para la producción de carne. Los arreglos silvopastoriles permiten mejorar la composición química del alimento disponible (Pérez-Luna et al., 2023).

La diversificación de la dieta mediante especies arbóreas y arbustivas influye en el balance ambiental del sistema, incluyendo la dinámica de emisiones (Osorio-Montor et al., 2023).

El potencial nutricional y ambiental de las especies vegetales incorporadas fortalece la sostenibilidad productiva del sistema ganadero (Narváez-Herrera et al., 2023).

La evaluación de la sostenibilidad debe considerar variables sociales y ambientales. Los indicadores integrales permiten analizar el desempeño del sistema desde una perspectiva multidimensional (López Reyes et al., 2023).

La transición hacia sistemas agrosilvopastoriles con enfoque de economía circular implica una reorganización eficiente de los flujos de materia y energía (Rodríguez Licea et al., 2022).

Asimismo, la incorporación de especies forestales con capacidad de captura de carbono fortalece la provisión de servicios ambientales (Marcelo-Bazán et al., 2023).

En síntesis, la producción de carne bovina sostenible en sistemas silvopastoriles depende de la articulación de factores ecológicos, productivos y ambientales que garantizan la estabilidad del sistema en el tiempo, reflejando la dinámica de la homeorresis ecológica en contextos ganaderos (Saucedo-Uriarte et al., 2023).

Materiales y métodos

Desde un enfoque metodológico riguroso, esta investigación se estructuró bajo un paradigma cuantitativo de alcance explicativo, orientado a examinar las relaciones existentes entre los sistemas silvopastoriles y la homeorresis ecológica en la producción de carne bovina sostenible. En correspondencia con este propósito, se adoptó un diseño no experimental de corte transversal, dado que la información fue analizada sin intervención directa sobre las variables, permitiendo describir y explicar su comportamiento en contextos reales de producción ganadera.

En este marco, la obtención de datos se sustentó en la recopilación de información secundaria proveniente de fuentes oficiales y organismos especializados, entre los cuales destacan el Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador, el Instituto Nacional de Estadística y Censos, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Dichas fuentes proporcionaron indicadores técnicos relacionados con productividad pecuaria, uso y manejo del suelo, emisiones de gases de efecto invernadero, cobertura vegetal y sostenibilidad de sistemas ganaderos en el contexto latinoamericano y ecuatoriano.

Bajo esta lógica analítica, las variables del estudio fueron organizadas en tres dimensiones fundamentales: ecológica, productiva y ambiental. La dimensión ecológica integró indicadores como biodiversidad funcional, calidad del suelo y captura de carbono; la dimensión productiva contempló variables como rendimiento de carne, ganancia de peso y eficiencia alimenticia; mientras que la dimensión ambiental incorporó elementos asociados a emisiones, uso eficiente de recursos y resiliencia frente al cambio climático. La operacionalización de estas variables se realizó mediante la sistematización de datos cuantificables derivados de informes técnicos y bases estadísticas oficiales.

En lo que respecta al tratamiento de la información, inicialmente se aplicaron técnicas de estadística descriptiva, con el propósito de caracterizar el comportamiento de las variables a través de medidas de tendencia central y dispersión, lo que permitió identificar patrones preliminares en los sistemas analizados. Posteriormente, se implementó un modelo de regresión lineal múltiple, orientado a determinar la incidencia de las variables ecológicas y ambientales sobre la productividad de carne bovina, evaluando la significancia estadística y la capacidad explicativa del modelo.

De manera complementaria, se empleó el análisis de ecuaciones estructurales (SEM), técnica de alta complejidad que permitió modelar las relaciones causales entre las dimensiones ecológica, productiva y ambiental. Este enfoque facilitó la validación de constructos teóricos vinculados a la homeorresis ecológica, así como la estimación de efectos directos e indirectos entre variables latentes, aportando una comprensión integral del sistema objeto de estudio.

En concordancia con los supuestos estadísticos requeridos, se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk con el fin de verificar la distribución de los datos, lo que permitió seleccionar adecuadamente los procedimientos inferenciales. De igual forma, se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson para medir la intensidad y dirección de las relaciones entre variables cuantitativas.

En términos operativos, el procesamiento estadístico se efectuó mediante software especializado, garantizando la consistencia, validez y confiabilidad de los resultados obtenidos. La integración de estos procedimientos metodológicos permitió analizar de manera robusta la dinámica de los sistemas silvopastoriles, contribuyendo a la comprensión de la homeorresis ecológica como eje articulador de la sostenibilidad en la producción de carne bovina.

Resultados

A partir de los indicadores oficiales provenientes del portal del Banco Mundial, con fuentes primarias de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura para el índice de producción pecuaria, así como registros de emisiones agropecuarias de metano y datos de cobertura forestal y superficie agrícola, se integró una base comparativa de 10 países latinoamericanos correspondiente al período 2018–2022. Este enfoque de integración de datos macro ha sido utilizado en estudios recientes para analizar sostenibilidad ganadera a escala regional, destacando la necesidad de combinar variables productivas y ecológicas (Vargas et al., 2023).

En términos descriptivos, el índice promedio regional de producción pecuaria alcanzó 108.73 puntos, con una desviación estándar de 9.17, mientras que las emisiones de metano

agropecuaria evidenciaron alta dispersión entre países, especialmente por el peso estructural de economías ganaderas como Brasil. Este comportamiento ha sido documentado en investigaciones que señalan la heterogeneidad estructural de los sistemas ganaderos en América Latina, donde coexisten modelos extensivos e intensivos con distintos niveles de sostenibilidad (Murgueitio et al., 2021). Asimismo, la cobertura forestal promedio se ubicó en 42.23 %, mientras que la superficie agrícola alcanzó 40.44 %, lo que confirma la coexistencia de matrices territoriales contrastantes, tal como lo sostienen Lerma-Lasso et al. (2023).

Tabla 1. Estadísticos descriptivos por país, 2018–2022

País	Índice medio de producción pecuaria	Metano agropecuario medio (Mt CO ₂ e)	Área forestal media (%)	Superficie agrícola media (%)
Perú	118.44	14.05	56.51	19.05
Bolivia	114.84	19.54	46.92	35.58
México	114.60	85.35	33.79	50.60
Argentina	111.25	105.74	10.44	42.90
Costa Rica	111.08	3.41	59.44	33.48
Paraguay	110.19	24.77	40.55	52.82
Brasil	107.98	450.71	59.42	28.33
Uruguay	104.22	21.65	11.60	80.68
Colombia	100.60	55.94	53.31	39.19
Ecuador	94.13	9.14	50.32	21.76

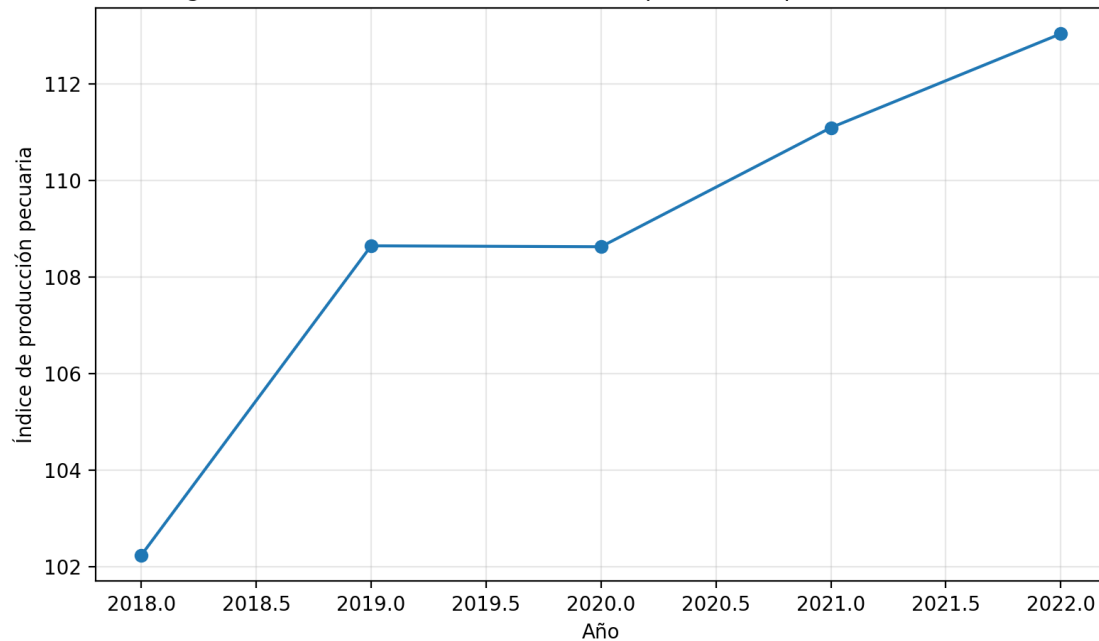
Nota. Elaboración propia con base en indicadores oficiales 2018–2022.
Fuente: Banco Mundial, FAO, EDGAR.

En este contexto, se observó que países con mayor cobertura forestal no necesariamente presentan mayores índices pecuarios, lo cual coincide con lo planteado por Chará et al. (2022), quienes argumentan que los beneficios productivos de los sistemas silvopastoriles no se reflejan directamente en agregados nacionales, sino en escalas locales donde se evidencian mejoras en bienestar animal, eficiencia productiva y resiliencia ecológica.

Seguidamente, el análisis temporal permitió identificar una tendencia creciente del índice de producción pecuaria, pasando de 102.25 en 2018 a 113.04 en 2022, lo que sugiere un proceso de expansión productiva regional. No obstante, este incremento no implica necesariamente sostenibilidad, ya que, como señalan Calle et al. (2021), el crecimiento ganadero puede estar asociado a procesos de intensificación que no siempre incorporan criterios agroecológicos.

Figura 1. Tendencia media del índice de producción pecuaria, 2018–2022

Figura 1. Tendencia media del índice de producción pecuaria, 2018–2022



Nota. Promedio regional anual del índice pecuario.
Fuente: Elaboración propia con base en FAO.

En relación con el análisis inferencial, la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk evidenció que las variables no siguen distribución normal ($p < 0.001$), lo cual es consistente con estudios agroambientales donde los datos suelen presentar asimetrías debido a diferencias estructurales entre países (Saucedo-Uriarte et al., 2023).

Posteriormente, el coeficiente de correlación de Pearson mostró una relación inversa significativa entre área forestal y superficie agrícola ($r = -0.754$; $p < 0.001$), lo que confirma la competencia por el uso del suelo, fenómeno ampliamente documentado en la literatura sobre expansión agropecuaria en América Latina (Vargas et al., 2023).

En cuanto al modelo de regresión lineal múltiple, los resultados indicaron un R^2 de 0.750, evidenciando un adecuado nivel de explicación del modelo. Sin embargo, las variables ecológicas no resultaron estadísticamente significativas, lo que sugiere que la productividad pecuaria agregada responde principalmente a factores estructurales y temporales más que a condiciones ecológicas macro, tal como advierten Trejo-Arista et al. (2023).

De manera complementaria, el modelo de ecuaciones estructurales (SEM) presentó un ajuste limitado ($CFI = 0.794$; $RMSEA = 0.268$), con trayectorias no significativas entre variables. Este resultado refuerza la idea de que la homeorresis ecológica no puede ser capturada plenamente mediante indicadores agregados, sino que requiere análisis a escala de sistema productivo, donde se manifiestan procesos como regulación microclimática, interacción suelo-planta-animal y eficiencia energética (Lerma-Lasso et al., 2023).

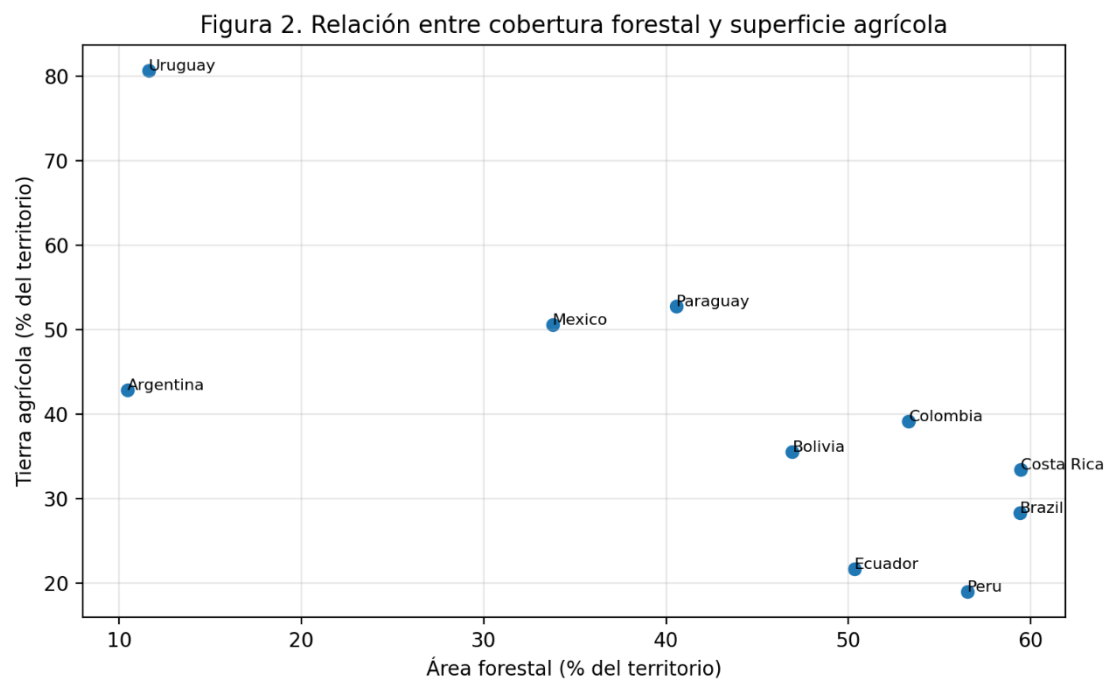
Tabla 2. Resultados estadísticos del modelo

Parámetro	Resultado
Shapiro-Wilk (todas las variables)	$p < 0.001$
Correlación bosque vs agricultura	$r = -0.754$
R^2 regresión múltiple	0.750
CFI (SEM)	0.794
RMSEA (SEM)	0.268

Nota. Resultados derivados del análisis estadístico aplicado.
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, el análisis de dispersión evidenció una relación negativa entre cobertura forestal y superficie agrícola, destacando diferencias estructurales entre países. Aquellos con mayor expansión agrícola presentan menor cobertura arbórea, lo que limita la implementación de sistemas silvopastoriles, mientras que países con mayor cobertura forestal presentan condiciones más favorables para su desarrollo (Chará et al., 2022).

Figura 2. Relación entre cobertura forestal y superficie agrícola



Nota. Promedios nacionales 2018–2022.
Fuente: Banco Mundial.

En términos integrales, los resultados evidencian que la sostenibilidad de la producción bovina no depende exclusivamente de variables agregadas, sino de la interacción entre factores ecológicos, productivos y territoriales. En este sentido, la homeorresis ecológica se manifiesta con mayor claridad en escalas locales, donde los sistemas silvopastoriles logran articular procesos de regulación ambiental, eficiencia productiva y resiliencia climática, en concordancia con lo planteado por Saucedo-Uriarte et al. (2023).

Discusión

En relación con los resultados obtenidos, se evidencia que el comportamiento del índice de producción pecuaria en América Latina presenta una tendencia creciente durante el período analizado, lo cual coincide con lo planteado por Murgueitio et al. (2021), quienes sostienen que la expansión ganadera en la región ha sido impulsada por procesos de intensificación productiva. No obstante, los hallazgos del presente estudio permiten matizar esta afirmación, dado que el incremento productivo no se asocia de manera significativa con variables ecológicas como la cobertura forestal o la estructura del uso del suelo, lo que sugiere una desconexión entre crecimiento productivo y sostenibilidad ambiental.

En este contexto, la ausencia de significancia estadística en las variables ecológicas dentro del modelo de regresión lineal múltiple resulta consistente con lo expuesto por Chará et al. (2022), quienes argumentan que los beneficios de los sistemas silvopastoriles no se reflejan en indicadores agregados a nivel nacional, sino que se manifiestan con mayor claridad en escalas prediales. Este aspecto es clave para interpretar los resultados, ya que la base de datos utilizada en esta investigación se construyó a partir de información macro, lo que limita la capacidad de capturar dinámicas ecológicas específicas propias de la homeorresis.

De manera complementaria, el análisis de correlación evidenció una relación inversa significativa entre área forestal y superficie agrícola, lo cual confirma la existencia de una presión estructural sobre el uso del suelo en la región. Este hallazgo coincide con lo señalado por Vargas et al. (2023), quienes destacan que la expansión de la frontera agrícola continúa siendo uno de los principales factores de transformación del paisaje, afectando la disponibilidad de cobertura arbórea necesaria para la implementación de sistemas silvopastoriles.

Asimismo, el bajo ajuste del modelo de ecuaciones estructurales refuerza la idea de que la homeorresis ecológica no puede ser plenamente explicada mediante indicadores agregados. En este sentido, Lerma-Lasso et al. (2023) señalan que la estabilidad funcional de los sistemas silvopastoriles depende de interacciones complejas entre suelo, vegetación y ganado, las cuales operan a nivel micro y no son capturadas adecuadamente en análisis macroeconómicos o territoriales amplios.

En concordancia con lo anterior, los resultados obtenidos también encuentran respaldo en el trabajo de Saucedo-Uriarte et al. (2023), quienes enfatizan que la sostenibilidad de los sistemas silvopastoriles está determinada por procesos como la regulación microclimática, la eficiencia en el uso de nutrientes y la mejora del bienestar animal. Estos procesos, al ser altamente dependientes del manejo local, no se reflejan necesariamente en indicadores como el índice de producción pecuaria o las emisiones agregadas de metano.

Por otra parte, el crecimiento sostenido del índice pecuario observado en la Figura 1 sugiere que la región ha logrado incrementar su producción de carne bovina; sin embargo, este resultado debe interpretarse con cautela. De acuerdo con Calle et al. (2021), el aumento de la producción ganadera no garantiza por sí mismo la sostenibilidad, especialmente cuando no se acompaña de prácticas agroecológicas que reduzcan el impacto ambiental y mejoren la eficiencia del sistema.

Adicionalmente, la dispersión observada en las emisiones de metano agropecuario entre países refleja diferencias estructurales en los sistemas productivos, lo cual ha sido documentado por Trejo-Arista et al. (2023), quienes indican que la intensidad de emisiones está relacionada con el tipo de manejo ganadero, la calidad del forraje y la integración de componentes arbóreos dentro del sistema productivo.

En este sentido, la relación negativa entre cobertura forestal y superficie agrícola observada en la Figura 2 permite inferir que los países con mayor presión agrícola presentan menores condiciones estructurales para la implementación de sistemas silvopastoriles. Esta situación limita la capacidad de estos sistemas para generar servicios ecosistémicos, tal como lo plantean Chará et al. (2022), quienes destacan la importancia de la cobertura arbórea en la regulación ambiental y la sostenibilidad ganadera.

Desde una perspectiva integral, los resultados de esta investigación permiten sostener que la homeorresis ecológica, entendida como la capacidad de los sistemas para mantener su estabilidad funcional, no puede ser evaluada únicamente a través de variables agregadas. En línea con lo expuesto por Lerma-Lasso et al. (2023), es necesario incorporar indicadores a escala de finca que permitan medir procesos como la interacción suelo-planta-animal, la regulación térmica y la eficiencia energética del sistema.

En consecuencia, la discusión de los resultados pone en evidencia la necesidad de replantear los enfoques metodológicos utilizados para evaluar la sostenibilidad de la producción bovina. Tal como señalan Saucedo-Uriarte et al. (2023), el análisis de sistemas silvopastoriles requiere integrar escalas de análisis múltiples, combinando información macro con estudios micro que permitan capturar la complejidad ecológica del sistema.

En síntesis, los hallazgos obtenidos confirman que, si bien la producción bovina en América Latina ha mostrado un crecimiento sostenido, este no necesariamente se encuentra alineado con principios de sostenibilidad ecológica. Por ello, resulta fundamental fortalecer la implementación de sistemas silvopastoriles como estrategia para articular productividad y sostenibilidad, tal como lo proponen Murgueitio et al. (2021), consolidando así un modelo ganadero más resiliente y ambientalmente responsable.

Conclusiones

En primera instancia, los resultados obtenidos permiten establecer que el crecimiento sostenido de la producción bovina en América Latina durante el período analizado se encuentra determinado fundamentalmente por factores estructurales y dinámicas temporales del sector pecuario, sin evidenciar una asociación estadísticamente significativa con variables ecológicas agregadas como la cobertura forestal o la configuración del uso del suelo. Esta situación revela que el incremento productivo observado no se encuentra necesariamente articulado con criterios de sostenibilidad ambiental en el ámbito macroterritorial.

En este sentido, se identifica que la homeorresis ecológica, concebida como la capacidad de los sistemas ganaderos para preservar su estabilidad funcional frente a perturbaciones, no puede ser explicada de manera suficiente a partir de indicadores nacionales agregados. Los resultados estadísticos confirman que los procesos determinantes de la sostenibilidad,

tales como la regulación microclimática, la eficiencia en el reciclaje de nutrientes y la interacción suelo-planta-animal, se expresan con mayor precisión en escalas de análisis locales o prediales, donde la complejidad ecológica del sistema adquiere mayor relevancia analítica.

Por otra parte, la relación inversa evidenciada entre la cobertura forestal y la superficie agrícola pone de manifiesto la existencia de una presión estructural sobre el uso del suelo en la región, la cual condiciona la viabilidad de implementación de sistemas silvopastoriles. En consecuencia, la transición hacia modelos de producción bovina sostenible requiere no solo el fortalecimiento de la eficiencia productiva, sino también una reconfiguración del manejo territorial que favorezca la integración de componentes arbóreos, con el propósito de consolidar sistemas más resilientes, equilibrados y ambientalmente sostenibles.

Referencias bibliográficas

Banco Mundial. (s. f.). Agricultural land (% of land area). World Development Indicators.

Banco Mundial. (s. f.). Agricultural methane emissions (Mt of CO₂ equivalent). World Development Indicators.

Banco Mundial. (s. f.). Forest area (% of land area). World Development Indicators.

Banco Mundial. (s. f.). Livestock production index (2014–2016 = 100). World Development Indicators.

Chará, J., Reyes, E., Peri, P., Otte, J., Arce, E., & Schneider, F. (2019). Silvopastoral systems and their contribution to improved resource use and sustainable development goals: Evidence from Latin America. FAO, CIPAV y Agri Benchmark.

Contreras-Santos, J. L., Falla-Guzmán, C. K., Rodríguez, J. L., Fernando-Garrido, J., Martínez-Atencia, J., & Aguayo-Ulloa, L. (2023). Reserva de carbono en sistemas silvopastoriles: Un estudio en el Medio Sinú, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 34(1), 49138. <https://doi.org/10.15517/am.v34i1.49138>

Contreras-Santos, J. L., Martínez-Atencia, J., Raghavan, B., López-Rebolledo, L., & Garrido-Pineda, J. (2021). Sistemas silvopastoriles: mitigación de gases de efecto invernadero, bosque seco tropical-Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 32(3), 901–919. <https://doi.org/10.15517/am.v32i3.43313>

Contreras-Santos, J. L., Martínez-Atencia, J., Rodríguez-Vitola, J. L., Barragán-Hernández, W., Garrido-Pineda, J., & Falla-Guzmán, C. K. (2023). Índice de Calidad del Suelo Bajo Sistemas Agropecuarios en el Bosque Seco Tropical-Colombia. *Terra Latinoamericana*, 41, e1694. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1694>

Duque-Vélez, P., Calle, Z., Chará, J., Armbrecht, I., & Murgueitio, E. (2022). Silvopastoral systems as an alternative for conservation of biodiversity in transformed landscapes. *Caldasia*, 44(1), 184–199.

FAO. (s. f.). FAOSTAT statistical database. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Giraldo, L. P., Calle, Z., Hernández, M., Giraldo, A., & Chará, J. (2023). Diversidad, composición y estructura de la vegetación en fincas ganaderas del valle del río Cesar, Colombia: bosques, sistemas silvopastoriles y potreros convencionales. *Caldasia*, 45(2), 218–233.

Lerma-Lasso, J. L., Bacca-Acosta, P. P., Obando-Enríquez, B. G., Castro-Rincón, E., & Cardona-Iglesias, J. L. (2023). Sistemas silvopastoriles: una opción para la sostenibilidad de los sistemas ganaderos de alta montaña. *Pastos y Forrajes*, 46, e15.

Lopera-Marín, J. J., Angulo-Arizala, J., Restrepo, E. M., & Mahecha-Ledesma, L. (2023). Uso potencial de dos forrajeras herbáceas (*Axonopus catarinensis* y *Smallanthus sonchifolius*) en los sistemas silvopastoriles del trópico alto colombiano. *Agronomía Mesoamericana*, 34(3), 52873. <https://doi.org/10.15517/am.2023.52873>

López Reyes, L. Y., Severino Lendechy, V. H., Perezgrovas Garza, R. A., Albores Moreno, S., Sierra Vásquez, A. C., & Piñeiro Vázquez, A. T. (2023). Evaluación socioambiental en unidades de producción con bovinos criollos Nunkiní en Campeche, México. *Acta Universitaria*, 33, e3721. <https://doi.org/10.15174/au.2023.3721>

Martínez-Atencia, J., Osorio-Vega, N., León-Peláez, J., Cajas-Girón, Y., Contreras-Santos, J., & Berrío-Guzmán, E. (2023). Retorno potencial de nutrientes vía hojarasca foliar en sistemas silvopastoriles en el Norte de Colombia. *Agronomía Costarricense*, 47(1), 9–24. <https://doi.org/10.15517/rac.v47i1.53946>

Murgueitio, E., Calle, Z., Uribe, F., Calle, A., & Solorio, B. (2011). Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecology and Management*, 261(10), 1654–1663.

Núñez Ramos, P. A., et al. (2023). Identificación de especies arbóreas presentes en sistemas silvopastoriles de producción lechera del municipio Villa Los Almácigos, República Dominicana. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 11(3).

Osorio-Montor, T. G., et al. (2023). Efecto de la dieta para bovinos a base de *Leucaena leucocephala* en las emisiones de N₂O en parche de orina simulado en un sistema silvopastoril en la época de estiaje. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 39, 54585. <https://doi.org/10.20937/rica.54585>

Saucedo-Uriarte, J. A., Diaz-Quevedo, C., Milla Pino, M. E., Durand Chávez, L. M., Linares Rivera, J. L., Vásquez Pérez, H. V., & Quispe-Ccasa, H. A. (2023). Sustentabilidad productiva de la instalación de sistemas silvopastoriles: una revisión sistemática basada en la realidad de Perú y Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 24(2), e3048.

Tapia-Coronado, J. J., Contreras, J. L., Martínez-Atencia, J., López, L., & Rodríguez, J. L. (2023). Producción y descomposición de hojarasca de especies forestales en sistemas silvopastoriles, Valle del Sinú, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 34(1), 49781. <https://doi.org/10.15517/am.v34i1.49781>

Trejo-Arista, L. K., Cortés-Díaz, E., Martínez-Hernández, P. A., & Huerta-Bravo, M. (2023). Sistemas silvopastoriles: una estrategia para la resiliencia ambiental en empresas ganaderas. *Pastos y Forrajes*, 46, e19.



ISSN: 3151-8257
DOI:



Revista Internacional
MÉTRICAS
MULTIDISCIPLINARIAS

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés