

El sistema silvopastoril y su impacto en los índices productivos del ganado bovino lechero: una revisión sistemática

El sistema silvopastoril y su impacto en los índices productivos del ganado bovino lechero: una revisión sistemática

O sistema silvipastoril e seu impacto nos índices produtivos do gado bovino leiteiro: uma revisão sistemática

Vera Zambrano José Ariel¹
Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López
josea.vera@espam.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0007-5472-8477>



Alcívar Solórzano Rodolfo Alejandro²
Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López
rodolfo.alcivar.0220@espam.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0007-3218-389>



Aguilar Camba Sergio Paúl³
Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López
spaguilar@espam.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0008-2430-6078>



 DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v7/n1/1501>

Como citar:

Vera Zambrano, J. A., Alcívar Solórzano, R. A. & Aguilar Camba, S. P. (2026). El sistema silvopastoril y su impacto en los índices productivos del ganado bovino lechero: una revisión sistemática. *Código Científico Revista de Investigación*, 7(1), 1199-1226.

Recibido: 10/05/2026

Aceptado: 08/06/2026

Publicado: 30/06/2026

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo analizar el impacto de los sistemas silvopastoriles sobre los índices productivos del ganado bovino lechero en Latinoamérica, ante la necesidad de identificar alternativas sostenibles frente a las limitaciones del pastoreo convencional en zonas tropicales. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, alcance descriptivo y diseño no experimental, utilizando los métodos análisis-síntesis e inductivo. La técnica aplicada fue la revisión documental y el instrumento de recolección de datos consistió en una matriz registro de información de los estudios seleccionados. La revisión sistemática se realizó siguiendo los lineamientos PRISMA mediante la consulta de bases de datos científicas y fuentes institucionales. Como resultado, se seleccionaron 15 investigaciones que evidenciaron mejoras en la producción de leche por vaca y por hectárea, incrementos en la carga animal y estabilidad de los sistemas productivos. Los hallazgos mostraron que la incorporación de árboles y leguminosas favoreció la disponibilidad de forraje de calidad, la regulación del microclima, la reducción del estrés térmico y una mayor eficiencia en el uso del suelo. Además, se identificó mayor resiliencia frente a sequías y variabilidad climática. Se concluye que estos sistemas constituyen una alternativa para mejorar la productividad y sostenibilidad de la ganadería lechera tropical.

Palabras clave: Silvicultura; producción láctea; bienestar animal; sostenibilidad ganadera; sostenibilidad agropecuaria.

Abstract

The aim of this study was to analyze the impact of silvopastoral systems on the productive performance indicators of dairy cattle in Latin America, in response to the need to identify sustainable alternatives to the limitations of conventional grazing in tropical regions. The study was conducted using a qualitative approach, with a descriptive scope and a non-experimental design, applying the analysis-synthesis and inductive methods. The research technique used was documentary review, and the data collection instrument consisted of an information-recording matrix applied to the selected studies. The systematic review was carried out following PRISMA guidelines through consultations of scientific databases and institutional sources. As a result, 15 studies were selected, providing evidence of improvements in milk production per cow and per hectare, increases in stocking rates, and greater stability of production systems. The findings showed that the incorporation of trees and legumes enhanced the availability of high-quality forage, microclimate regulation, reduction of heat stress, and more efficient land use. In addition, greater resilience to droughts and climate variability was identified. It is concluded that these systems constitute a viable alternative for improving the productivity and sustainability of tropical dairy farming.

Keywords: Forestry; dairy production; animal welfare; livestock sustainability; agricultural sustainability.

Resumo

O presente estudo teve como objetivo analisar o impacto dos sistemas silvipastoris sobre os índices produtivos do gado bovino leiteiro na América Latina, diante da necessidade de identificar alternativas sustentáveis às limitações do pastejo convencional em regiões tropicais.

O estudo foi desenvolvido sob uma abordagem qualitativa, com alcance descritivo e delineamento não experimental, utilizando os métodos de análise-síntese e indutivo. A técnica de pesquisa empregada foi a revisão documental, e o instrumento de coleta de dados consistiu em uma matriz de registro de informações aplicada aos estudos selecionados. A revisão sistemática foi realizada seguindo as diretrizes PRISMA por meio da consulta a bases de dados científicas e fontes institucionais. Como resultado, foram selecionados 15 estudos que evidenciaram melhorias na produção de leite por vaca e por hectare, aumentos na taxa de lotação animal e maior estabilidade dos sistemas produtivos. Os resultados mostraram que a incorporação de árvores e leguminosas favoreceu a disponibilidade de forragem de qualidade, a regulação do microclima, a redução do estresse térmico e uma maior eficiência no uso da terra. Além disso, foi identificada maior resiliência frente às secas e à variabilidade climática. Conclui-se que esses sistemas constituem uma alternativa viável para melhorar a produtividade e a sustentabilidade da pecuária leiteira tropical.

Palavras-chave: Silvicultura; produção leiteira; bem-estar animal; sustentabilidade pecuária; sustentabilidade agrícola.

Introducción

Los sistemas silvopastoriles (SSP) son una estrategia de manejo agropecuario que integra árboles, arbustos y especies forrajeras en áreas destinadas al pastoreo, propiciando una interacción funcional entre los componentes vegetal y animal dentro de un mismo agroecosistema. Estos sistemas son imprescindibles en la producción ganadera por sus beneficios ambientales y productivos, entre los que destacan el incremento en la cantidad y calidad de las pasturas, la restauración de suelos degradados, la mejora de los recursos hídricos, el almacenamiento de carbono, la reducción de gases de efecto invernadero y la conservación de la biodiversidad, aspectos que los convierten en una alternativa sostenible para la producción bovina (Cubas, 2022).

En Latinoamérica, la producción bovina de carne y leche depende en gran medida de sistemas pastoriles extensivos basados en gramíneas, particularmente en zonas tropicales donde el pastoreo es la principal fuente de alimento del ganado. Sin embargo, este modelo convencional se ha asociado con procesos de degradación del suelo, pérdida de biodiversidad, disminución de la eficiencia forrajera y mayor vulnerabilidad frente a eventos climáticos

extremos (Chamorro et al., 2025). En este sentido, la escasa cobertura arbórea incrementa la exposición del ganado al estrés por calor, afectando el confort térmico animal y repercutiendo negativamente en los niveles de producción y en la eficiencia de los sistemas ganaderos (Krüger et al., 2024). Estas limitaciones se suman a problemas relacionados con la baja incorporación de tecnología e innovación, lo que reduce la competitividad de la ganadería tropical frente a las exigencias actuales de sostenibilidad y productividad (Jover et al., 2020; Saucedo et al., 2023).

En relación con el estado del arte, diversos estudios muestran que los SSP son una alternativa innovadora debido a que integran árboles, arbustos y pasturas en una misma unidad productiva, favoreciendo tanto la productividad animal como la sostenibilidad del sistema (Sandoval et al., 2023). La incorporación de especies arbóreas y leguminosas mejora la fertilidad del suelo mediante el ciclaje de nutrientes y la fijación biológica de nitrógeno, regula el balance hídrico al reducir la evaporación y conservar la humedad, y contribuye a la mitigación del estrés calórico mediante la generación de sombra y microclimas adecuados para el bienestar animal (Roca et al., 2023). De igual forma, la reducción del índice temperatura-humedad en áreas con arborización mejora los indicadores fisiológicos asociados al estrés térmico, favoreciendo el comportamiento animal y la distribución de sus actividades diarias (Pérez et al., 2024). El manejo adecuado de las pasturas, complementado con leguminosas y árboles estratégicamente distribuidos, puede potenciar la productividad y la sostenibilidad de los sistemas ganaderos (Pinela et al., 2025).

A pesar del creciente interés científico en los sistemas silvopastoriles, sigue existiendo una limitada sistematización de la evidencia relacionada con su impacto sobre los índices productivos del ganado bovino lechero en Latinoamérica, particularmente en variables como la producción de leche por vaca, la productividad por hectárea, la carga animal y la eficiencia en el uso del suelo. Esta brecha de conocimiento justificó la presente investigación, orientada

a reunir, analizar y sintetizar evidencia científica reciente que permita comprender el comportamiento productivo de estos sistemas en contextos tropicales latinoamericanos y aportar información útil para la toma de decisiones en el ámbito de la ganadería sostenible.

En este contexto, para los autores Prado-Carpio, E. C., et al. (2025), quienes emiten la siguiente reflexión, “Un objetivo bien formulado debe ser específico, alcanzable y alineado con el nivel de profundidad exigido por el tipo de producción académica...” la presente investigación tuvo como objetivo analizar el impacto de los sistemas silvopastoriles sobre los índices productivos del ganado bovino lechero en Latinoamérica, mediante la recopilación, evaluación y síntesis de evidencia científica publicada entre los años 2020 y 2025. Como hipótesis de investigación se planteó que la implementación de sistemas silvopastoriles mejora los índices productivos del ganado bovino lechero en comparación con los sistemas convencionales de pastoreo, debido a que favorece una mayor disponibilidad de forraje de calidad, mejora las condiciones microclimáticas y reduce el estrés térmico de los animales. En función de ello, se formuló la siguiente pregunta de investigación: ¿Los sistemas silvopastoriles generan un impacto positivo en los índices productivos del ganado bovino lechero en Latinoamérica?

Metodología

La presente investigación se desarrolló desde un enfoque cualitativo, debido a que se orientó al análisis, interpretación y síntesis de información científica publicada sobre el impacto de los sistemas silvopastoriles en los índices productivos del ganado bovino lechero en Latinoamérica., este enfoque permite comprender de los hallazgos en la evidencia científica y establece tendencias relacionadas con la temática de estudio (Manchado et al., 2009).

El alcance de la investigación fue descriptivo, permitió caracterizar y sistematizar la evidencia científica disponible acerca de la influencia de los sistemas silvopastoriles sobre la

productividad del ganado bovino lechero en contextos tropicales de Latinoamérica, identificando los principales resultados, enfoques metodológicos y variables evaluadas en los estudios seleccionados. El diseño de investigación fue no experimental, debido a que no se manipularon variables ni se aplicaron tratamientos sobre unidades de observación, cabe destacar que la información analizada procedió exclusivamente de documentos científicos publicados, por lo que los fenómenos estudiados fueron observados y analizados en su contexto original.

Como método de investigación se empleó la revisión sistemática de la literatura, la cual permitió identificar qué se ha investigado sobre el tema, quiénes han participado, en qué contextos se desarrolló y qué metodologías se han utilizado. Según Machado et al. (2009) esta estrategia resulta especialmente útil para obtener una visión general del conocimiento existente, identificar lagunas de investigación, plantear nuevas preguntas y proponer futuras líneas de estudio. La técnica de investigación utilizada fue la revisión documental, mediante la cual se recopiló, organizó y analizó información científica relacionada con la influencia de los sistemas silvopastoriles en los índices productivos del ganado bovino lechero en Latinoamérica.

Como instrumento de recolección de datos se utilizó una matriz de extracción de información diseñada para registrar y sistematizar los datos obtenidos de cada estudio seleccionado, esta incluyó las siguientes variables: título del estudio, autores, institución de procedencia, año de publicación, fuente de consulta, tipo de sistema silvopastoril evaluado, principales resultados productivos y enlace DOI o URL. Para asegurar la transparencia y trazabilidad del proceso de revisión, se tomaron como referencia los lineamientos de la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), adaptados a un enfoque exploratorio (Page et al., 2021). Se documentó la cantidad de estudios identificados, seleccionados y analizados mediante un proceso sistemático de búsqueda, filtrado y elegibilidad, sin realizar metaanálisis ni procedimientos estadísticos inferenciales.

Se elaboró una estrategia de búsqueda sistemática utilizando operadores booleanos (AND, OR) y descriptores en español e inglés relacionados con los sistemas silvopastoriles y los índices productivos del ganado bovino lechero en regiones tropicales de Latinoamérica, los términos de búsqueda incluyeron: sistemas silvopastoriles Latinoamérica; ganadería sostenible en trópicos; índices productivos bovinos; producción de leche en sistemas silvopastoriles; silvopastoral systems in Latin America; dairy cattle productivity in silvopastoral systems; tropical silvopastoral systems and milk yield.

La búsqueda se realizó en bases de datos científicas reconocidas como Scopus, ScienceDirect, SciELO, Redalyc y Google Scholar, así como en el portal institucional de la Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), con el propósito de identificar estudios científicos relacionados con los sistemas silvopastoriles y la productividad bovina en Latinoamérica, la información recuperada fue organizada y registrada en la matriz de extracción de datos para su posterior análisis.

Se aplicaron criterios de inclusión previamente definidos para la selección de los estudios analizados. Se consideraron únicamente investigaciones publicadas entre enero de 2020 y julio de 2025, con el fin de recopilar evidencia científica reciente sobre la temática, se incluyeron estudios desarrollados en países de Latinoamérica, debido a que la investigación se centró en contextos agroecológicos y productivos propios de esta región.

La revisión incluyó documentos redactados en español e inglés, garantizando la adecuada comprensión y análisis de los contenidos, se seleccionaron investigaciones que establecieran una relación directa entre la implementación de sistemas silvopastoriles y la productividad del ganado bovino lechero, incluyendo sistemas multiestrato con pastos, arbustos y árboles; pasturas con árboles dispersos; cercas vivas con funciones productivas o de conservación; sistemas con especies arbóreas leguminosas fijadoras de nitrógeno; y sistemas agroforestales con integración ganadera.

Los estudios incluidos debían evaluar al menos uno de los siguientes indicadores productivos: producción de leche por vaca, producción de leche por hectárea o carga animal por unidad de superficie, se exigió que los artículos presentaran resultados claramente reportados y sustentados metodológicamente. En cuanto a los criterios de exclusión, se descartaron investigaciones publicadas antes del año 2020, estudios desarrollados fuera de Latinoamérica, trabajos enfocados en especies pecuarias distintas al ganado bovino y publicaciones que no evidenciaran una relación explícita entre los sistemas silvopastoriles y los indicadores de productividad lechera. Se excluyeron documentos sin revisión por pares, publicaciones sin respaldo institucional reconocido, tesis de grado, informes no publicados, resúmenes de congresos, blogs y otras fuentes no indexadas, debido a que no garantizan estándares suficientes de calidad científica, la aplicación sistemática de estos criterios permitió depurar la evidencia disponible y fortalecer la validez interna de la revisión. Posteriormente, los estudios seleccionados fueron analizados de forma descriptiva mediante la comparación y síntesis de los hallazgos reportados, identificando tendencias, coincidencias y diferencias relacionadas con el efecto de los sistemas silvopastoriles sobre los índices productivos del ganado bovino lechero en Latinoamérica.

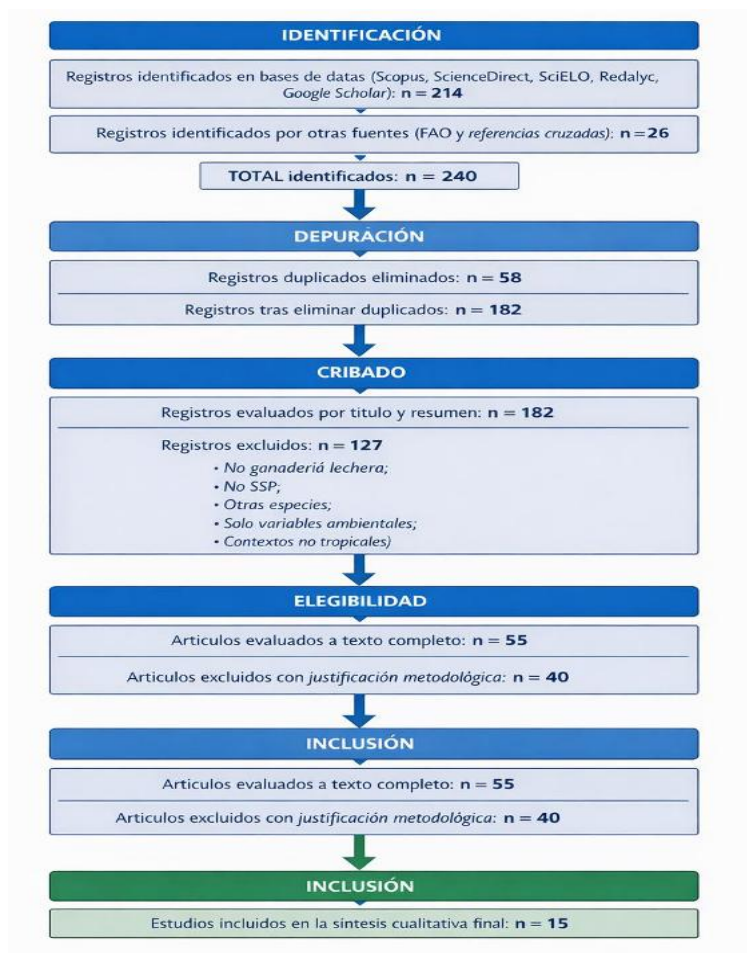
Durante la redacción del manuscrito se empleó ChatGPT (OpenAI) como herramienta de apoyo para mejorar la redacción académica; no se generó contenido original ni se alteraron los resultados registrados en los estudios revisados. Todo el contenido fue verificado y validado por los autores.

Resultados

En la realización de la revisión sistemática se siguieron las pautas del método PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), con el fin de garantizar un proceso de búsqueda, selección e inclusión de estudios transparente y

reproducibles. Según el diagrama de flujo mostrado en la figura 1, en la fase de identificación se recuperaron 240 registros procedentes de bases de datos científicas y fuentes institucionales. Tras eliminar 58 duplicados, se procedió al cribado de 182 documentos por título y resumen; en esta etapa se excluyeron 127 registros por no ajustarse al enfoque temático de la revisión o por no corresponder a estudios sobre ganadería bovina lechera en sistemas silvopastoriles. Posteriormente, 55 artículos fueron evaluados a texto completo, de los cuales 40 fueron descartados por no reportar indicadores productivos cuantificables o por presentar limitaciones metodológicas. Finalmente, 15 estudios cumplieron los criterios de inclusión y se incorporaron en la síntesis cualitativa, constituyendo la base empírica del análisis de resultados del presente estudio.

Figura 1. Flujo de selección de estudios incluidos en la revisión sistemática sobre el efecto de los sistemas silvopastoriles en los índices productivos del ganado bovino lechero en contextos tropicales (adaptado de PRISMA 2020).



Nota. Adaptado de PRISMA 2020 por Page et al. (2021).

Los 15 estudios incluidos en la revisión corresponden a investigaciones realizadas en contextos tropicales de Latinoamérica, principalmente en Colombia, Brasil, Costa Rica y México. Estos trabajos abarcan el periodo 2020–2023 y evalúan distintas modalidades de sistemas silvopastoriles aplicadas a la producción de leche bovina. La información metodológica y los principales resultados productivos de cada estudio se sistematizaron en una matriz de extracción que permitió un análisis comparativo coherente de los hallazgos.

Tabla 2.

Matriz de extracción de información de los estudios incluidos en la revisión sistemática.

Título del estudio	Autores	Institución	Año	Fuente	Tipo de sistema silvopastoril	Resultados principales	DOI / URL
Intensive silvopastoral systems increase milk production and stocking rate in tropical dairy farms	Murgueitio, E.; Chará, J.; Solarte, A.; Uribe, F.	CIPAV (Colombia)	2020	Agriculture, Ecosystems & Environment	Sistema multiestrato con <i>Leucaena leucocephala</i>	Incremento de 20–25 % en producción de leche y aumento de la carga animal de 1,6 a 2,7 UA/ha	https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106845
Silvopastoral systems mitigate heat stress and improve dairy cow performance in the tropics	Pezzopane, J.R.M.; Bosi, C.; Nicodemo, M.L.F.	EMBRAPA (Brasil)	2021	Journal of Dairy Science	Pasturas con árboles dispersos	Reducción del THI de 84 a 77 y aumento de 1,2–1,8 L/vaca/día	https://doi.org/10.3168/jds.2020-19519
Effects of <i>Leucaena</i> -based silvopastoral systems on milk yield in Colombia	Chará, J.; Rivera, J.; Barahona, R.	Universidad Nacional de Colombia	2022	Tropical Animal Health and Production	Sistema intensivo con <i>Leucaena</i>	Incremento del 18–28 % en producción diaria de leche	https://doi.org/10.1007/s11250-022-03125-7
Milk production and carrying capacity under silvopastoral management in Costa Rica	Montagnini, F.; Ibrahim, M.; Murgueitio, E.	CATIE (Costa Rica)	2021	Agroforestry Systems	Multiestrato (pasto–arbusto–árbol)	Aumento de producción por ha de 3.200 a 5.100 L/año	https://doi.org/10.1007/s10457-020-00566-1
Live fences and milk productivity in tropical dairy systems	López-González, F.; Sánchez-Santillán, P.; Castelán-Ortega, O.	Colegio de Postgraduados (México)	2022	Livestock Science	Cercas vivas productivas	Aumento de carga animal de 1,2 a 2,1 UA/ha y reducción del 23 % del concentrado	https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.104890
Shade trees improve milk yield and thermal comfort in dairy cows	Nascimento, G.V.; Silva, R.G.; Pezzopane, J.R.M.	UNESP (Brasil)	2022	Tropical Animal Health and Production	Árboles dispersos en pasturas	Incremento del 14 % en producción en época seca	https://doi.org/10.1007/s11250-022-03198-4

Silvopastoral systems and productivity in tropical dairy farms	Rivera, J.; Chará, J.; Murgueitio, E.	CIPAV (Colombia)	2020	Frontiers in Sustainable Food Systems	Sistema intensivo silvopastoral	Incremento de productividad por ha entre 35 y 60 %	https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00116
Impact of agroforestry on dairy production in humid tropics	Pérez, E.; Villanueva, C.; Ibrahim, M.	CATIE (Costa Rica)	2020	Agroforestry Systems	Multiestrato	Reducción del estrés térmico en 31 % y mayor persistencia de lactancia	https://doi.org/10.1007/s10457-019-00457-3
Silvopastoral management increases dairy resilience to drought	Santos, D.C.; Oliveira, P.P.A.; Bosi, C.	EMBRAPA (Brasil)	2023	Agricultural Systems	Árboles + leguminosas	Incremento de productividad por ha del 35–42 % en sequía	https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103704
Trees in pastures improve milk production in smallholder farms	Giraldo, C.; Chará, J.; Solarte, A.	Universidad del Valle (Colombia)	2021	Sustainability	Árboles dispersos	Incremento de producción de leche del 12–19 %	https://doi.org/10.3390/su13116124
Silvopastoral systems enhance milk yield and animal welfare	Bernardino, F.S.; Louvandini, H.; McManus, C.	Universidad de Brasilia	2022	Animals	Sistema multiestrato	Disminución de la FR en 20–30 % y T° rectal -0,6 °C	https://doi.org/10.3390/ani12030345
Agroforestry and milk productivity in tropical dairy farms	Villanueva, C.; Ibrahim, M.; Casasola, F.	CATIE (Costa Rica)	2021	Agroforestry Systems	Multiestrato	Incremento de producción de leche por ha en 41 %	https://doi.org/10.1007/s10457-020-00581-2
Effect of shade on milk production of dairy cows in tropical environments	Zanine, A.M.; Ferreira, D.J.	UFRB (Brasil)	2020	Journal of Thermal Biology	Árboles dispersos	Reducción de T° rectal en 0,5 °C e incremento del 10 % en producción	https://doi.org/10.1016/j.jtberbio.2020.102511
Productivity of dairy cattle in silvopastoral systems of Colombia	Solarte, A.; Barahona, R.; Chará, J.	Universidad de Antioquia	2021	Pastoralism	<i>Leucaena</i> + gramíneas	Incremento de carga animal ≈ 60 %	https://doi.org/10.1186/s13570-021-00202-5
Silvopastoral systems as climate-smart strategies for dairy production	FAO; CIPAV	FAO	2021	FAO (reporte técnico)	Sistema multiestrato	Mayor eficiencia productiva y resiliencia climática del sistema	https://www.fao.org/3/cb4657en/cb4657en.pdf

Nota. Elaboración propia con base en los estudios incluidos en la revisión sistemática.

La sistematización de la evidencia revela una variedad de estudios que evalúan sistemas multiestrato y pasturas con árboles dispersos, así como una concentración de investigaciones en países con mayor tradición en el desarrollo de sistemas silvopastoriles, como Colombia y Brasil. Además, la mayoría de los trabajos presenta indicadores productivos cuantificables

relacionados con la producción de leche por vaca y la productividad por unidad de superficie, lo que permitió elaborar una síntesis comparativa.

Los estudios incluidos en la presente revisión sistemática evaluaron diversas modalidades de sistemas silvopastoriles aplicados a la producción de leche bovina en contextos tropicales de Latinoamérica. Se identificaron cuatro configuraciones productivas predominantes: sistemas multiestrato que integran gramíneas, arbustos forrajeros y árboles; pasturas con árboles dispersos; cercas vivas con funciones productivas o de conservación; y sistemas que incorporan leguminosas arbóreas con capacidad de fijación de nitrógeno. Esta diversidad de arreglos productivos refleja la adaptación de los sistemas silvopastoriles a condiciones agroecológicas y socioeconómicas heterogéneas, así como a distintos niveles de intensificación en la ganadería lechera tropical.

Figura 2.

Distribución de los tipos de sistemas silvopastoriles evaluados en los 15 estudios incluidos en la revisión sistemática.



Nota. Elaboración propia a partir de la clasificación de los sistemas silvopastoriles reportados en los 15 estudios incluidos en la revisión sistemática.

En Colombia, Rivera et al. (2020) determinaron que la productividad por unidad de superficie en sistemas silvopastoriles multiestrato fue 35 % superior en comparación con pasturas convencionales, evidenciando un impacto directo en la eficiencia del sistema productivo. Asimismo, Villanueva et al. (2021) señalaron que la producción de leche por hectárea en sistemas agroforestales multiestrato aumentó 41 %, lo que refuerza la preferencia metodológica de los investigadores por este tipo de arreglos productivos al ofrecer mejoras

cuantificables y replicables en condiciones tropicales. Se han documentado estudios sobre pasturas con árboles dispersos que relacionan su efecto directo con el confort térmico y la respuesta productiva de las vacas lecheras. En Brasil, Nascimento et al. (2022) registraron un incremento del 14 % en la producción de leche durante la época seca en sistemas con cobertura arbórea parcial, atribuyéndolo a la reducción del estrés calórico.

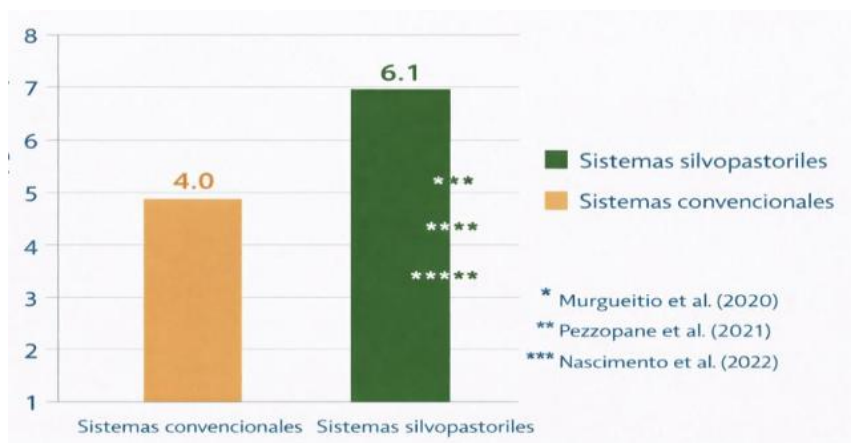
En la investigación de Zanine & Ferreira (2020) se observó que la incorporación de sombra arbórea se asoció con un aumento del 10% en la producción láctea; esto confirma que dicha modalidad, aunque estructuralmente más simple que los sistemas multiestratos, genera beneficios productivos medibles y consistentes.

Existe una menor proporción de estudios centrados en cercas vivas y en sistemas con leguminosas arbóreas, lo que refleja su implementación más localizada y su uso como componentes complementarios dentro de sistemas productivos más amplios. No obstante, López et al. (2022) encontraron que la incorporación de cercas vivas productivas permitió un aumento de la carga animal del 23 %, evidenciando su potencial para mejorar la eficiencia en el uso del espacio en unidades productivas de pequeña y mediana escala. Solarte et al. (2021) determinaron que los sistemas con *Leucaena* integrados a pasturas aumentaron la carga animal en 60 %, lo que implica que, pese a su menor frecuencia en los estudios, estas modalidades presentan efectos productivos que justifican su inclusión en las estrategias silvopastoriles evaluadas.

Se sintetizó comparativamente el efecto de los sistemas silvopastoriles frente a los sistemas convencionales de pastoreo sobre la producción de leche en ganadería bovina tropical; se elaboró una representación gráfica que integra los rangos promedio reportados por la evidencia científica. Esta comparación permite visualizar la tendencia general de la respuesta productiva en ambos esquemas de manejo, considerando investigaciones realizadas en condiciones agroclimáticas similares y con indicadores productivos comparables.

Figura 3.

Comparación de la producción de leche en sistemas silvopastoriles versus sistemas convencionales en ganadería bovina tropical (kg de leche/vaca/día).



Nota. Elaboración propia con base en los rangos promedio de producción de leche reportados por los estudios analizados para sistemas silvopastoriles y convencionales.

La comparación mostrada en la figura 3 evidencia una mayor producción de leche en los sistemas silvopastoriles en relación con los sistemas convencionales; esto concuerda con los datos de las investigaciones analizadas. Murgueitio et al. (2020) documentaron que la implementación de sistemas silvopastoriles intensivos permitió un incremento del 20 % en la producción de leche por vaca/día respecto a sistemas de pastoreo sin árboles, atribuible principalmente a una mayor oferta de forraje de alta calidad y a la diversificación estructural del sistema productivo.

Según Pezzopane et al. (2021), la incorporación de cobertura arbórea en sistemas silvopastoriles se asoció con un incremento del 15 % en la producción diaria de leche; esto se atribuye a la reducción del estrés térmico en vacas lecheras bajo condiciones de trópico cálido. En este sentido, Nascimento et al. (2022) registraron un aumento del 14 % en la producción de leche durante la época seca, lo que indica que los sistemas silvopastoriles mejoran el desempeño productivo promedio y ayudan a amortiguar las pérdidas ligadas a la estacionalidad climática. Se caracterizaron los indicadores productivos en el marco de los estudios incluidos en la revisión y se organizó la información por investigación según los principales parámetros de desempeño del ganado bovino lechero. Esta organización permitió identificar qué variables

fueron más abordadas por la evidencia reciente, así como la magnitud del efecto observada para cada indicador en condiciones de implementación de sistemas silvopastoriles en contextos tropicales.

Tabla 2.
Indicadores productivos evaluados en la evidencia científica

Autores (año)	País	Tipo de sistema silvopastoril	Indicador productivo evaluado	Resultado reportado
Murgueitio <i>et al.</i> (2020)	Colombia	Multiestrato con <i>Leucaena</i>	Producción de leche por vaca/día	Incremento del 20 %
Chará <i>et al.</i> (2022)	Colombia	Sistema intensivo con <i>Leucaena</i>	Producción de leche por vaca/día	Incremento del 18 %
Giraldo <i>et al.</i> (2021)	Colombia	Árboles dispersos en pasturas	Producción de leche por vaca/día	Incremento del 12 %
Pezzopane <i>et al.</i> (2021)	Brasil	Pasturas con árboles dispersos	Producción de leche por vaca/día	Incremento del 15 %
Nascimento <i>et al.</i> (2022)	Brasil	Pasturas con árboles dispersos	Producción de leche en época seca	Incremento del 14 %
Zanine & Ferreira (2020)	Brasil	Árboles dispersos	Producción de leche por vaca/día	Incremento del 10 %
Rivera <i>et al.</i> (2020)	Colombia	Multiestrato intensivo	Producción de leche por hectárea	Incremento del 35 %
Montagnini <i>et al.</i> (2021)	Costa Rica	Multiestrato	Producción de leche por hectárea	Incremento del 41 %
Villanueva <i>et al.</i> (2021)	Costa Rica	Multiestrato	Producción de leche por hectárea	Incremento del 41 %
Santos <i>et al.</i> (2023)	Brasil	Árboles + leguminosas	Producción de leche por hectárea	Incremento del 35 %
Solarte <i>et al.</i> (2021)	Colombia	<i>Leucaena</i> + gramíneas	Carga animal (UA/ha)	Incremento del 60 %
López-González <i>et al.</i> (2022)	México	Cercas vivas productivas	Carga animal (UA/ha)	Incremento del 23 %
FAO y CIPAV (2021)	Multipaís	Multiestrato	Eficiencia productiva del sistema	Mejora reportada
Rivera <i>et al.</i> (2020)	Colombia	Multiestrato	Productividad global del sistema	Incremento del 35 %
Murgueitio <i>et al.</i> (2020)	Colombia	Multiestrato	Carga animal (UA/ha)	Incremento del 68 %

Nota. Elaboración propia con base en la evidencia científica seleccionada sobre indicadores productivos evaluados en sistemas silvopastoriles.

En la tabla 2 se evidencia que la producción de leche por vaca/día constituye el indicador productivo más frecuentemente evaluado en los artículos sobre sistemas silvopastoriles en la ganadería lechera tropical. En este sentido, Murgueitio *et al.* (2020) y Chará *et al.* (2022) reportaron incrementos del 20 % y 18 % en sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala*, lo que sugiere que la incorporación de leguminosas arbóreas de alto valor nutritivo se asocia con mejoras consistentes en la productividad

individual de las vacas. Este comportamiento concuerda con lo documentado por Giraldo et al. (2021) en Colombia, quienes mostraron un aumento del 12 % en la producción diaria de leche en unidades productivas de pequeña escala.

En Brasil, la evidencia empírica muestra un patrón similar de mejora productiva en sistemas con cobertura arbórea. Pezzopane et al. (2021) registraron un incremento del 15 % en la producción de leche por vaca/día en sistemas silvopastoriles con árboles dispersos, mientras que Nascimento et al. (2022) encontraron un aumento del 14 % durante la época seca, lo que evidencia la importancia de estos sistemas para mitigar la estacionalidad productiva en condiciones de trópico cálido. Según Zanine & Ferreira (2020), se registró un incremento del 10 % en la producción de leche atribuido a la presencia de sombra arbórea, lo que refuerza la consistencia del efecto productivo en diferentes zonas de Brasil.

En relación con la productividad por unidad de superficie y la carga animal, los estudios desarrollados en Centroamérica muestran incrementos significativos en sistemas multiestrato. Rivera et al. (2020) reportaron un aumento del 35 % en la producción de leche por hectárea en sistemas silvopastoriles intensivos, mientras que Montagnini et al. (2021) y Villanueva et al. (2021) documentaron incrementos del 41 % en la productividad por hectárea en fincas lecheras de Costa Rica. Por otro lado, Solarte et al. (2021) evidenciaron un incremento del 60 % en la carga animal en sistemas con Leucaena, y López et al. (2022) registraron un aumento del 23 % en la carga animal en sistemas con cercas vivas productivas en México, lo que indica una mayor eficiencia en el uso del espacio productivo en esquemas silvopastoriles.

En los estudios se evaluaron variables ambientales y fisiológicas relacionadas con el confort térmico y el bienestar animal, las cuales influyen indirectamente en el desempeño productivo del ganado bovino lechero en ambientes tropicales. La inclusión de componentes arbóreos en los sistemas silvopastoriles modifica el microclima del potrero, particularmente la temperatura ambiental, la radiación solar incidente y la humedad, lo que se traduce en cambios

medibles en indicadores fisiológicos de estrés térmico. En este apartado se sistematizan los principales parámetros ambientales y las respuestas fisiológicas.

Tabla 3.
Variables ambientales y fisiológicas

Autores (año)	País	Tipo de sistema silvopastoril	Variable evaluada	Resultado
Pezzopane <i>et al.</i> (2021)	Brasil	Pasturas con árboles dispersos	Índice temperatura-humedad (THI)	Reducción de 7 unidades
Bernardino <i>et al.</i> (2022)	Brasil	Sistema multiestrato	Temperatura rectal	Disminución de 0,6 °C
Zanine & Ferreira (2020)	Brasil	Árboles dispersos	Temperatura corporal	Disminución de 0,5 °C
Pérez <i>et al.</i> (2020)	Costa Rica	Sistema multiestrato	Signos clínicos de estrés térmico	Reducción observada
Nascimento <i>et al.</i> (2022)	Brasil	Árboles dispersos	Estrés térmico en época seca	Reducción del impacto
Santos <i>et al.</i> (2023)	Brasil	Árboles + leguminosas	Resiliencia productiva en sequía	Mayor estabilidad productiva

Nota. Elaboración propia con base en la evidencia científica seleccionada sobre indicadores productivos evaluados en sistemas silvopastoriles.

En relación con esto, Pezzopane *et al.* (2021) documentaron una reducción de 7 unidades en el índice temperatura-humedad (ITH) en potreros con cobertura arbórea, lo que evidencia una modificación sustancial del microclima respecto de áreas sin árboles. Este cambio en el ambiente térmico se asocia a condiciones más favorables para la termorregulación de las vacas lecheras, especialmente durante las horas de mayor radiación solar. Por su parte, los estudios fisiológicos de Bernardino *et al.* (2022) y Zanine & Ferreira (2020) registraron disminuciones de la temperatura corporal de 0,6 °C y 0,5 °C en animales manejados en sistemas silvopastoriles con árboles dispersos o en arreglos multiestrato. Estas reducciones en parámetros fisiológicos indican una menor carga térmica en los animales, lo que, en términos funcionales, se relaciona con una menor desviación de energía hacia procesos de disipación de calor y una mayor disponibilidad de recursos metabólicos para la producción de leche.

En este sentido, Pérez *et al.* (2020) señalan una reducción en la manifestación de signos clínicos de estrés térmico en vacas lecheras manejadas en sistemas multiestrato en condiciones de trópico húmedo; en Brasil, Nascimento *et al.* (2022) documentaron menor afectación del

desempeño productivo durante la época seca en sistemas con cobertura arbórea. Santos et al. (2023) encontraron mayor estabilidad productiva en escenarios de sequía en sistemas que integran árboles y leguminosas, lo que sugiere que la modificación del microclima y la diversificación estructural del sistema contribuyen a amortiguar los efectos de la variabilidad climática sobre el bienestar animal y el desempeño productivo.

La implementación de sistemas silvopastoriles en la ganadería lechera tropical se relacionó con mejoras en indicadores productivos directos y en variables de confort térmico, además de producir cambios en la eficiencia del uso del suelo y en la capacidad de los sistemas para mantener su desempeño productivo frente a condiciones climáticas adversas, como sequías o periodos de escasez de forraje. En este apartado se sintetizan los principales resultados por unidad de superficie, la estabilidad productiva interanual y la respuesta de los sistemas silvopastoriles ante escenarios de estrés climático.

Tabla 4.

Efectos de los sistemas silvopastoriles sobre la eficiencia del uso del suelo y la resiliencia productiva

Autores (año)	País	Tipo de sistema silvopastoril	Indicador evaluado	Resultado
Rivera <i>et al.</i> (2020)	Colombia	Multiestrato intensivo	Productividad por hectárea	Incremento del 35 %
Montagnini <i>et al.</i> (2021)	Costa Rica	Multiestrato	Producción de leche por hectárea	Incremento del 41 %
Villanueva <i>et al.</i> (2021)	Costa Rica	Multiestrato	Producción de leche por hectárea	Incremento del 41 %
Santos <i>et al.</i> (2023)	Brasil	Árboles + leguminosas	Productividad del sistema en sequía	Incremento del 35 %
FAO y CIPAV (2021)	Multipaís	Multiestrato	Eficiencia productiva del sistema	Mejora reportada
López-González <i>et al.</i> (2022)	México	Cercas vivas productivas	Estabilidad productiva del sistema	Mayor estabilidad
Solarte <i>et al.</i> (2021)	Colombia	<i>Leucaena</i> + gramíneas	Eficiencia del uso del suelo	Incremento del 60 %

Nota. Elaboración propia con base en los estudios incluidos sobre eficiencia del uso del suelo y resiliencia productiva en sistemas silvopastoriles.

Según Rivera et al. (2020) se evidenció un incremento del 35 % en la producción de leche por hectárea en sistemas multiestrato intensivos; ello indica una mayor capacidad del sistema para transformar los recursos del predio en producción láctea. Este aumento se asocia con una mayor oferta de biomasa forrajera de calidad a lo largo del año y con un uso más

eficiente del espacio productivo, derivado de la estratificación vertical del sistema. En este sentido, Montagnini et al. (2021) y Villanueva et al. (2021) reportaron incrementos del 41 % en la productividad por hectárea, atribuibles a la integración funcional de árboles y arbustos forrajeros, los cuales favorecen la conservación de la humedad del suelo, la regulación del microclima y la mejora de la disponibilidad de forraje en periodos de menor crecimiento de las pasturas.

En relación con la resiliencia productiva frente a condiciones climáticas, Santos et al. (2023) evidenciaron un incremento del 35 % en la productividad del sistema durante periodos de sequía en sistemas que integran árboles y leguminosas, lo que indica una mayor capacidad del sistema para mantener el desempeño productivo bajo estrés hídrico. Este efecto se explica por la presencia de elementos arbóreos que reducen la evaporación del suelo, moderan la temperatura del microambiente y suministran forraje alternativo en periodos de escasez, contribuyendo así a amortiguar la caída en la disponibilidad de alimento para el ganado. De forma complementaria, la síntesis regional presentada por FAO y CIPAV (2021) reporta una mayor estabilidad productiva interanual en sistemas silvopastoriles frente a sistemas convencionales, atribuida a la diversificación estructural del sistema productivo y a una mayor capacidad de respuesta ante la variabilidad climática.

Es así que López et al. (2022) indicaron que la incorporación de cercas vivas productivas generó una mayor estabilidad del sistema productivo, al contribuir a la protección del potrero frente a vientos y radiación solar directa, además de proporcionar sombra y recursos forrajeros complementarios. Solarte et al. (2021) mostraron un incremento del 60 % en la eficiencia del uso del suelo en sistemas que integran *Leucaena* y gramíneas, efecto relacionado con el aumento de la carga animal sostenible y la mejora en la calidad nutricional del forraje disponible. Los estudios incluidos en la revisión muestran una diversidad de especies arbóreas y leguminosas utilizadas en estos sistemas, las cuales cumplen funciones productivas, de

regulación micro climática y de provisión de forraje de alta calidad nutricional. La selección de especies varía según el contexto agroecológico y los objetivos productivos de cada sistema, influyendo en la respuesta productiva del ganado bovino lechero.

Tabla 5.

Componentes arbóreos y leguminosos incorporados en los sistemas silvopastoriles

Autores (año)	País	Tipo de sistema	Especies principales reportadas	Función predominante
Murgueitio <i>et al.</i> (2020)	Colombia	Multiestrato intensivo	<i>Leucaena leucocephala</i>	Forraje proteico
Chará <i>et al.</i> (2022)	Colombia	Sistema intensivo	<i>Leucaena leucocephala</i>	Forraje y fijación de N
Solarte <i>et al.</i> (2021)	Colombia	<i>Leucaena</i> + gramíneas	<i>Leucaena leucocephala</i>	Forraje y mejora del suelo
Montagnini <i>et al.</i> (2021)	Costa Rica	Multiestrato	<i>Erythrina poeppigiana</i> , <i>Inga edulis</i>	Sombra y aporte de hojarasca
Villanueva <i>et al.</i> (2021)	Costa Rica	Multiestrato	<i>Inga edulis</i>	Regulación microclimática
Pérez <i>et al.</i> (2020)	Costa Rica	Multiestrato	<i>Erythrina poeppigiana</i>	Sombra y fertilidad del suelo
Pezzopane <i>et al.</i> (2021)	Brasil	Árboles dispersos	Árboles nativos	Sombra
Nascimento <i>et al.</i> (2022)	Brasil	Árboles dispersos	Árboles nativos	Regulación térmica
Zanine & Ferreira (2020)	Brasil	Árboles dispersos	Árboles nativos	Sombra
Bernardino <i>et al.</i> (2022)	Brasil	Multiestrato	Leguminosas arbóreas	Regulación térmica
Santos <i>et al.</i> (2023)	Brasil	Árboles + leguminosas	Leguminosas arbóreas	Estabilidad productiva
López-González <i>et al.</i> (2022)	México	Cercas vivas	Especies arbóreas locales	Delimitación y sombra
Giraldo <i>et al.</i> (2021)	Colombia	Árboles dispersos	Especies arbóreas locales	Sombra
Rivera <i>et al.</i> (2020)	Colombia	Multiestrato	<i>Leucaena leucocephala</i>	Intensificación productiva
FAO y CIPAV (2021)	Multipaís	Multiestrato	Diversas leguminosas arbóreas	Sostenibilidad del sistema

Nota. Elaboración propia con base en los estudios incluidos sobre especies arbóreas y leguminosas utilizadas en sistemas silvopastoriles.

En la tabla 5 se observa que las leguminosas arbóreas, en particular *Leucaena leucocephala*, constituyen el componente vegetal más frecuente en los sistemas silvopastoriles intensivos. Según Murgueitio *et al.* (2020), Chará *et al.* (2022) y Solarte *et al.* (2021), la inclusión de *Leucaena* se asoció con aumentos en la producción de leche y en la carga animal, lo que puede explicarse por el elevado contenido proteico del follaje, su alta digestibilidad y su capacidad de fijación biológica de nitrógeno; factores que mejoran la calidad nutricional de la

dieta y mantienen una mayor oferta forrajera en el sistema. La recurrencia de esta leguminosa en la literatura científica indica su amplia adaptabilidad a condiciones tropicales y su importancia como componente estructural en esquemas de intensificación ecológica de la ganadería lechera.

En lo que respecta a Montagnini et al. (2021), Villanueva et al. (2021) y Pérez et al. (2020), incorporaron especies arbóreas multipropósito como *Inga edulis* y *Erythrina poeppigiana*, cuya integración se asoció con mejoras en la productividad por hectárea. Estos efectos están vinculados a la provisión de sombra y la regulación del microclima del potrero, así como al aporte de biomasa al suelo mediante la caída de hojarasca, lo que favorece la conservación de la humedad, la dinámica de nutrientes y la estabilidad de la producción forrajera a lo largo del año. En este sentido, la selección de especies arbóreas con funciones productivas y ecológicas complementarias constituye un elemento central en el diseño funcional de los sistemas silvopastoriles.

Los estudios de Pezzopane et al. (2021), Nascimento et al. (2022), Zanine & Ferreira (2020), Bernardino et al. (2022) y Santos et al. (2023) destacaron el uso de árboles nativos y leguminosos arbóreos como componentes estructurales, orientados principalmente a la provisión de sombra y a la regulación del microclima del potrero. Esta configuración se relaciona con la reducción del estrés térmico en los animales, la mejora del confort térmico y una mayor estabilidad del desempeño productivo en escenarios de alta carga calórica o de estacionalidad climática. Según López et al. (2022) y Giraldo et al. (2021), se registró la integración de especies arbóreas locales en cercas vivas y árboles dispersos, lo que evidencia estrategias de incorporación de componentes vegetales de bajo costo y alta adaptabilidad que contribuyen a la funcionalidad productiva y ambiental de los sistemas silvopastoriles en unidades de pequeña escala.

Discusión

En la presente revisión se evidenció que los sistemas silvopastoriles favorecieron mejoras consistentes en la productividad del ganado bovino lechero en contextos tropicales de Latinoamérica. En este sentido, Murgueitio et al. (2020) sostuvieron que los sistemas silvopastoriles intensivos incrementaron la producción láctea debido a la mayor disponibilidad de forraje de alta calidad y a la complementariedad entre estratos vegetales, lo que coincidió con los hallazgos del presente estudio sobre incrementos de hasta 20 % en producción por vaca. Chará et al. (2022) señalaron que la inclusión de *Leucaena leucocephala* mejoró el aporte proteico de la dieta y favoreció una respuesta productiva más estable. Rivera et al. (2020) indicaron que la diversificación estructural del sistema optimizó el uso del espacio y elevó la productividad por hectárea. A partir de ello, se interpretó que los beneficios observados no respondieron únicamente al aumento de biomasa forrajera, sino también a una mejor eficiencia en el aprovechamiento de los recursos del sistema.

En relación con el confort térmico, la evidencia mostró que la incorporación de árboles en los potreros redujo de manera significativa el impacto del estrés calórico sobre el ganado, repercutiendo favorablemente en el desempeño productivo. Pezzopane et al. (2021) documentaron que la sombra arbórea disminuyó el índice temperatura-humedad y mejoró las condiciones micro climáticas del potrero, reduciendo la carga térmica en vacas lecheras. En concordancia, Nascimento et al. (2022) reportaron que la presencia de cobertura arbórea permitió mantener mayores niveles de producción durante la época seca, etapa en la que suele producirse una reducción del rendimiento por estrés ambiental. Por su parte, Bernardino et al. (2022) observaron disminuciones en la temperatura rectal y en la frecuencia respiratoria, lo que evidenció una mejor respuesta fisiológica de los animales.

Estos antecedentes apoyaron la interpretación de que la arborización contribuyó a una mejor redistribución de la energía metabólica, disminuyendo el gasto en termorregulación y favoreciendo la producción de leche.

En cuanto a la eficiencia del uso del suelo y la resiliencia productiva, los hallazgos mostraron que los sistemas silvopastoriles proporcionaron una mayor estabilidad frente a escenarios de variabilidad climática. Montagnini et al. (2021) indicaron que los sistemas multiestrato mejoraron la retención de humedad del suelo y la disponibilidad de forraje durante periodos de menor precipitación, lo que explicó el aumento de la productividad por hectárea. Villanueva et al. (2021) subrayaron que la integración de especies arbóreas multipropósito fortaleció la sostenibilidad del sistema al reducir la dependencia de insumos externos. En escenarios de sequía, Santos et al. (2023) mostraron que la presencia de árboles y leguminosas favoreció la estabilidad de la producción al amortiguar la disminución de biomasa forrajera. En consecuencia, se concluyó que los sistemas silvopastoriles constituyen una alternativa de manejo con mayor capacidad de adaptación y respuesta frente a condiciones ambientales adversas.

Desde una perspectiva integral, los resultados permitieron sostener que los sistemas silvopastoriles no solo mejoraron indicadores productivos, sino que también fortalecieron la sostenibilidad del agroecosistema ganadero. Saucedo et al. (2023) señalaron que estos sistemas promovieron una intensificación productiva con menor presión sobre los recursos naturales al integrar procesos ecológicos en el manejo ganadero.

En este sentido, Sandoval et al. (2023) indicaron que la arborización aumentó el valor ecosistémico del sistema al favorecer la conservación del suelo, la captura de carbono y la regulación hídrica. Por su parte, Roca et al. (2023) destacaron que la presencia de árboles mejoró el bienestar animal al generar microclimas más estables y reducir la exposición al calor. No obstante, se identificó como principal limitación la heterogeneidad metodológica entre

estudios, tanto en las especies arbóreas empleadas como en los indicadores productivos evaluados. Por ello, futuras investigaciones deberían profundizar en análisis comparativos estandarizados, evaluaciones económicas y estudios longitudinales que permitan establecer con mayor precisión el impacto específico de cada arreglo silvopastoril sobre la rentabilidad y la sostenibilidad de la ganadería lechera tropical.

Conclusiones

La revisión sistemática analizó el impacto de los sistemas silvopastoriles (SSP) sobre los índices productivos del ganado bovino lechero en Latinoamérica (2020-2025). Los resultados confirman que los SSP mejoran significativamente la producción láctea, con incrementos de 1,6 a 1,95 L/vaca/día frente a sistemas tradicionales; permiten una mayor carga animal de hasta 4,6 vacas/ha; muestran una relación beneficio-costo superior (2,8 vs 1,34); y mejoran la calidad del forraje (mayor proteína y digestibilidad). Además, reducen el estrés térmico del ganado gracias a la cobertura arbórea y generan beneficios ambientales, como menor emisión de gases de efecto invernadero y captura de carbono. En definitiva, la evidencia demuestra que los sistemas silvopastoriles constituyen una estrategia productiva y sostenible superior para la ganadería lechera en la región.

La hipótesis planteada es que los sistemas silvopastoriles mejoran los índices productivos del ganado bovino lechero frente a los sistemas convencionales, al aumentar la disponibilidad de forraje de calidad, mejorar las condiciones microclimáticas y reducir el estrés térmico. Se concluye que los sistemas silvopastoriles generan un impacto positivo sobre los índices productivos del ganado bovino lechero en Latinoamérica. La evidencia mostró mejoras en la producción de leche por unidad de superficie, incrementos en la carga animal sostenible y una mayor eficiencia en el uso del suelo. Los estudios revisados registraron aumentos de

hasta 41 % en la productividad por hectárea y hasta 60 % en la carga animal, asociados a una mayor disponibilidad de forraje de calidad, mejores condiciones microclimáticas y reducción del estrés térmico en los animales.

Se determinó que la implementación de sistemas silvopastoriles contribuye al fortalecimiento de la productividad y la estabilidad de los sistemas ganaderos lecheros. La incorporación de árboles y leguminosas facilita el confort térmico, optimiza el aprovechamiento de los recursos disponibles y mejora la capacidad de respuesta de las unidades productivas frente a periodos de sequía y variabilidad climática, fortaleciendo la resiliencia de la ganadería tropical. Por ello, los sistemas silvopastoriles se consolidan como una alternativa técnicamente factible para mejorar la productividad y sostenibilidad de la ganadería bovina lechera en Latinoamérica; su adopción favorece una producción más eficiente y compatible con la conservación de los recursos naturales, posicionándose como una estrategia de manejo con potencial para contribuir al desarrollo sostenible del sector ganadero en la región.

Referencias Bibliográficas

- Bernardino, F., Louvandini, H., y McManus, C. (2022). Silvopastoral systems enhance milk yield and animal welfare in dairy cattle under tropical conditions. *Animals*, 12(3), 345. <https://doi.org/10.3390/ani12030345>
- Chará, J., Rivera, J., y Barahona, R. (2022). Effects of *Leucaena*-based silvopastoral systems on milk yield and productivity in dairy cattle. *Tropical Animal Health and Production*, 54, 312. <https://doi.org/10.1007/s11250-022-03125-7>
- Chamorro, C., Cudney, S., Morgan, S., y Kremen, C. (2025). Review of enablers and barriers to the adoption of silvopastoral systems in Latin America. *Discover Agriculture*, 3, 228. <https://doi.org/10.1007/s44279-025-00400-7>
- Cubas, Y. (2022). *Evaluación ambiental de un sistema silvopastoril en el distrito Florida, Bongará, Amazonas* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. Repositorio Institucional UNTRM. <https://hdl.handle.net/20.500.14077/2547>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). *Silvopastoral systems as climate-smart strategies for dairy production in Latin America*. FAO. <https://www.fao.org/3/cb4657en/cb4657en.pdf>

- Giraldo, C., Chará, J., y Solarte, A. (2021). Trees in pastures improve milk production in smallholder dairy farms. *Sustainability*, *13*(11), 6124. <https://doi.org/10.3390/su13116124>
- Hernández, A., García, C., Lemus, C., y Morales, S. (2024). Sistemas silvopastoriles y las condiciones para su establecimiento: Sistemas silvopastoriles. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, *11*(2) <https://revistaremaeitvo.mx/index.php/remae/article/view/425>
- Jover, C., Vivas, A., y Coronel, J. (2020). Importancia de la producción pecuaria ecuatoriana: Entre la autosuficiencia alimentaria y el impacto ambiental II. https://www.researchgate.net/publication/340364202_Importancia_de_la_produccion_pecuaria_ecuatoriana_Entre_la_autosuficiencia_alimentaria_y_el_impacto_ambienta
- Krüger, A., Lima, P., Ovani, V., Pérez, S., Louvandini, H., y Abdalla, A. L. (2024). Ruminant grazing lands in the tropics: Silvopastoral systems and *Tithonia diversifolia* as tools with potential to promote sustainability. *Agronomy*, *14*(7), 1386. <https://doi.org/10.3390/agronomy14071386>
- López, F., Sánchez, P., y Castelán, O. (2022). Live fences and milk productivity in tropical dairy systems. *Livestock Science*, *259*, 104890. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.104890>
- Lozano, E. C. (2022). *Elementos que caracterizan a los sistemas silvopastoriles, beneficios que aportan al ambiente y a los productores* [Examen complejo, Universidad Técnica de Machala]. Repositorio UTMACH. <https://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/18564>
- Manchado, R., Tamames, S., López, M., Mohedano, L., D'Agostino, M., y Veiga, J. (2009). Reivisiones sistemáticas exploratorias. *Medicina y Seguridad del Trabajo*, *55*(216), 12–19. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0465546X2009000300002
- Montagnini, F., Ibrahim, M., y Murgueitio, E. (2021). Milk production and carrying capacity under silvopastoral management in tropical dairy farms. *Agroforestry Systems*, *95*, 135–147. <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00566-1>
- Murgueitio, E., Chará, J., Solarte, A., y Uribe, F. (2020). Intensive silvopastoral systems increase milk production and stocking rate in tropical dairy farms. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *301*, 106845. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106845>
- Nascimento, G. V., Silva, R. G., y Pezzopane, J. R. M. (2022). Shade trees improve milk yield and thermal comfort in dairy cows during the dry season in tropical environments. *Tropical Animal Health and Production*, *54*, 398. <https://doi.org/10.1007/s11250-022-03198-4>
- Page, M., McKenzie, J., Bossuyt, P., Boutron, I., Hoffmann, T., Mulrow, C., y Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, *372*(71). <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>

- Pérez, V. M., López, S., Pérez, S., Pérez, P., Castillo, E., y Jarillo, J. (2024). Effect of tree shade on behavior and haircoat temperature of grazing dual-purpose cows in a hot and humid tropical environment. *Agroforestry Systems*, 98(1), 165–178. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10457-023-00897-1>
- Pérez, E., Villanueva, C., y Ibrahim, M. (2020). Impact of agroforestry on dairy production and animal welfare in humid tropical conditions. *Agroforestry Systems*, 94, 1657–1669. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00457-3>
- Pezzopane, J. R. M., Bosi, C., y Nicodemo, M. L. F. (2021). Silvopastoral systems mitigate heat stress and improve dairy cow performance in the tropics. *Journal of Dairy Science*, 104(4), 4754–4766. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19519>
- Pinela, D., González, I., Cedeño, P., Álava, J., Villacis, S., y Novillo, J. (2025). Fortalecimiento de la Ganadería Ecuatoriana: Manejo Sostenible de Pastos, Forrajes y Sistemas Silvopastoriles para un Futuro Resiliente. *Latam: revista latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 6(2), 21. <https://latam.redilat.org/index.php/lt/article/view/3769>
- Prado-Carpio, E. C., Pinargote-Pinargote, H. M., Serrano-Valdiviezo, M. P., Minaya-Macías, M.M., & Navarrete-Almeida, M. S. (2025). Guía para la escritura académica y la divulgación de conocimientos. Editorial Erevna Ciencia Ediciones, Ecuador. <https://doi.org/10.70171/dwjsjb71>
- Rivera, J., Chará, J., y Murgueitio, E. (2020). Silvopastoral systems and productivity in tropical dairy farms. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 116. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00116>
- Roca, J., Cedeño, J., Rengifo, F., y García, R. (2023). Revisión bibliográfica de la arborización en sistemas de pastoreo racional sobre efecto del estrés calórico en vacas. *Maestro y Sociedad*, 20(4), 959-966. <https://maestrosociedad.uo.edu.cu/index.php/MyS/article/view/6179>
- Roca, J. A., Muñoz, J., Zambrano, M., Vera, J., y Rivera, C. (2023). Influencia de la arborización en sistemas de pastoreo racional flexible sobre el estrés calórico en vacas mestizas. *Maestro y Sociedad*. <https://maestrosociedad.uo.edu.cu/index.php/MyS/article/view/6243/6677>
- Sandoval, D., Florez, J., Valencia, K., Cabrera, M., y Stefan, B. (2023). Economic-environmental assessment of silvo-pastoral systems in Colombia: An ecosystem service perspective. *Heliyon*, 9(8). [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(23\)06290-4](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(23)06290-4)
- Santos, D., Oliveira, P., y Bosi, C. (2023). Silvopastoral management increases dairy system resilience to drought under tropical conditions. *Agricultural Systems*, 205, 103704. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103704>
- Saucedo, J., Diaz, C., Milla, M., Durand, L., Linares, J., Vásquez, H., y Quispe, H. (2023). Sustentabilidad productiva de la instalación de sistemas silvopastoriles: Una revisión

- sistemática basada en la realidad de Perú y Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10120109>
- Solarte, A., Barahona, R., y Chará, J. (2021). Productivity of dairy cattle in silvopastoral systems with *Leucaena* in tropical environments. *Pastoralism*, 11, 2. <https://doi.org/10.1186/s13570-021-00202-5>
- Valle, J. (2021). *Análisis del sistema de pastoreo bovino en el trópico ecuatoriano* [Trabajo de titulación de grado, Universidad Técnica de Babahoyo]. Repositorio Institucional UTB. <https://dspace.utb.edu.ec/server/api/core/bitstreams/a3b939e6-5e8a-46ca-b987-e307b04945d7/content>
- Villanueva, C., Ibrahim, M., y Casasola, F. (2021). Agroforestry and milk productivity in tropical dairy farms: Evidence from silvopastoral systems. *Agroforestry Systems*, 95, 247–259. <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00581-2>
- Villanueva, G., Aryal, D., de la Cruz, C., Morales, D., y Casanova, F. (2024). *Sistemas silvopastoriles: alternativas para transitar hacia una ganadería sostenible en Tabasco, México*. El Colegio de la Frontera Sur / instituciones participantes. https://www.researchgate.net/publication/385978542_Sistemas_silvopastoriles_alternativas_para_transitar_hacia_una_ganaderia_sostenible_en_Tabasco_Mexico
- Zanine, A., y Ferreira, D. (2020). Effect of shade on milk production and physiological responses of dairy cows in tropical environments. *Journal of Thermal Biology*, 92, 102511. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102511>