

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>



Sergio Paúl Aguilar Camba³
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 la influencia de los sistemas silvopastoriles sobre los índices productivos del ganado bovino lechero en Latinoamérica. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, con alcance descriptivo y diseño no experimental, empleando los métodos de análisis-síntesis e inductivo. La recolección de información se realizó mediante una revisión sistemática de la literatura siguiendo los lineamientos PRISMA, a partir de la cual se seleccionaron 14 estudios publicados entre 2020 y 2025. Los resultados evidenciaron que, en la mayoría de los estudios, los sistemas silvopastoriles incrementaron la producción de leche y la producción de leche corregida por grasa y proteína (FPCM), mejoraron la composición de la leche, las características nutricionales del forraje y la carga animal en la mayoría de los estudios evaluados. Se concluye que los sistemas silvopastoriles constituyen una alternativa para mejorar el desempeño productivo y las condiciones ambientales de los sistemas lecheros, aunque la magnitud de sus efectos depende de las características del sistema implementado.

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

Abstract

The present research aimed to analyze the influence of silvopastoral systems on the productive indices of dairy cattle in Latin America. The study was developed under a qualitative approach, with a descriptive scope and non-experimental design, employing the analysis-synthesis and inductive methods. Information collection was carried out through a systematic literature review following PRISMA guidelines, from which 14 studies published between 2020 and 2025 were selected. The results showed that, in most studies, silvopastoral systems increased milk production and fat-and-protein-corrected milk (FPCM) production, improved milk composition, forage nutritional characteristics, and stocking rate in the majority of the studies evaluated. It is concluded that silvopastoral systems constitute an alternative for improving productive performance and environmental conditions of dairy systems, although the magnitude of their effects depends on the characteristics of the system implemented.

Keywords: Silviculture; milk production; animal welfare; livestock sustainability; agricultural sustainability.

Resumo

A presente investigação teve como objetivo analisar a influência dos sistemas silvopastoris sobre os índices produtivos do gado bovino leiteiro na América Latina. O estudo desenvolvido sob uma abordagem qualitativa, com alcance descritivo e desenho não experimental, empregando os métodos de análise-síntese e indutivo. A coleta de informações foi realizada mediante uma revisão sistemática da literatura seguindo as diretrizes PRISMA, a partir da qual foram selecionados 14 estudos publicados entre 2020 e 2025. Os resultados mostraram que, na maioria dos estudos, os sistemas silvipastoris aumentaram a produção de leite e a produção de leite corrigida por gordura e proteína (FPCM), melhoraram a composição do leite, as

características nutricionais da forragem e a carga animal na maioria dos estudos avaliados. Conclui-se que os sistemas silvopastoris constituem uma alternativa para melhorar o desempenho produtivo e as condições ambientais dos sistemas leiteiros, embora a magnitude dos seus efeitos dependa das características do sistema implementado.

Palabras-chave: Silvicultura; produção leiteira; bem-estar animal; sustentabilidade pecuária; sustentabilidade agropecuária.

Introducción

Los sistemas silvopastoriles (SSP) constituyen una estrategia de manejo agropecuario que integra árboles, arbustos, especies forrajeras y animales dentro de una misma unidad de producción, promoviendo interacciones biológicas y ecológicas que optimizan el funcionamiento del agroecosistema (McAdam et al., 2009). Estos sistemas son considerados una alternativa para el desarrollo de una ganadería más sostenible, ya que contribuyen a la provisión simultánea de bienes y servicios ecosistémicos, incluyendo la restauración y conservación de la calidad del suelo, la regulación de los recursos hídricos, el almacenamiento de carbono, la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero y la conservación de la biodiversidad (Dollinger & Jose, 2018; Kay et al., 2019; Cubas, 2022).

En Latinoamérica, la producción bovina de carne y leche se desarrolla predominantemente bajo sistemas de pastoreo, especialmente en regiones donde las gramíneas constituyen la principal fuente de alimentación del ganado. No obstante, el manejo convencional de estos sistemas se ha asociado con procesos de degradación del suelo, pérdida de biodiversidad y una mayor vulnerabilidad climática, comprometiendo la sostenibilidad de la actividad ganadera (Chamorro et al., 2025). Asimismo, las elevadas temperaturas y la limitada disponibilidad de sombra incrementan el riesgo de estrés térmico en los animales, afectando su bienestar, el consumo de alimento, la producción y la eficiencia de los sistemas ganaderos (Bernabucci et al., 2010; Polsky & von Keyserlingk, 2017; Krüger et al., 2024). Estas limitaciones, sumadas a la necesidad de fortalecer la incorporación de tecnologías e

innovaciones orientadas a mejorar la productividad y la sostenibilidad, representan uno de los principales desafíos para la ganadería tropical en la actualidad (Herrero et al., 2016; Jover et al., 2020; Saucedo et al., 2023).

La producción de leche constituye una de las actividades pecuarias de mayor importancia económica y social, al contribuir al abastecimiento de alimentos, la generación de empleo rural y los ingresos de millones de productores (Gerber et al., 2013; OECD & FAO, 2023). No obstante, el incremento de la demanda de productos de origen animal ha intensificado la presión sobre los sistemas de producción, haciendo necesario adoptar estrategias que incrementen la productividad sin comprometer los recursos naturales (FAO, 2018; Tilman et al., 2011; Searchinger et al., 2019). En este contexto, los sistemas silvopastoriles representan una alternativa para compatibilizar la producción ganadera con la conservación ambiental mediante la integración de árboles en los sistemas de pastoreo, favoreciendo la provisión de servicios ecosistémicos, el almacenamiento de carbono y la mitigación de los impactos ambientales asociados a la producción pecuaria (Brook et al., 2022; Nair, 2012; Reed et al., 2017).

Aunque los beneficios ambientales de los sistemas silvopastoriles han sido ampliamente documentados, su adopción por parte de los productores depende en gran medida de la capacidad de estos sistemas para mantener o incrementar la productividad animal (Jose, 2009; Dumont et al., 2013). Asimismo, la integración de especies arbóreas y arbustivas puede modificar la disponibilidad y el valor nutritivo del forraje, mejorar el confort térmico de los animales y favorecer su desempeño productivo, aspectos esenciales para el desarrollo de una ganadería sostenible (Paciullo et al., 2011; Pezzopane et al., 2019).

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., 2023a). 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 (Roca et al., 2023b; 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).

La respuesta de los sistemas silvopastoriles sobre la productividad animal puede variar en función de factores como las especies arbóreas empleadas, la composición botánica de las pasturas, el clima, la intensidad de manejo y las condiciones propias de cada sistema de producción. Esta variabilidad ha generado resultados heterogéneos entre estudios, dificultando la obtención de conclusiones generales acerca de los efectos de estos sistemas sobre los índices productivos del ganado lechero. En consecuencia, la síntesis sistemática de la evidencia científica representa una herramienta fundamental para identificar tendencias consistentes, comparar resultados obtenidos bajo diferentes condiciones agroecológicas y orientar futuras estrategias de investigación y transferencia tecnológica (Jose & Dollinger, 2019; Torralba et al., 2016).

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, especialmente en variables relacionadas con la producción de leche, la leche corregida por grasa y proteína (FPCM), la carga animal y otros indicadores asociados al desempeño productivo. 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 los diferentes contextos agroecológicos de Latinoamérica y aportar información útil para la toma de decisiones en el ámbito de la ganadería sostenible.

En este contexto, 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 micro climáticas 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

Esta investigación se fundamenta en un enfoque cualitativo orientado a la sistematización y síntesis de evidencia científica sobre el impacto de los sistemas silvopastoriles (SSP) en los índices productivos del ganado bovino lechero en Latinoamérica. Con un alcance descriptivo y diseño no experimental, el estudio sintetiza los resultados, enfoques metodológicos y variables clave, bajo la premisa de observar y analizar los fenómenos en sus contextos originales sin manipulación de variables (Manchado et al., 2009).

Como método, la revisión sistemática de la literatura permite la obtención de una visión integral del conocimiento, facilitando la identificación de lagunas investigativas y la proposición de nuevas líneas de estudio (Manchado et al., 2009). La investigación delimitó su

alcance a Colombia, México, Brasil y Costa Rica, integrando una matriz de extracción de datos diseñada para sistematizar variables críticas como el tipo de SSP, los resultados productivos obtenidos y el autor de cada fuente. En estricto apego a los lineamientos PRISMA (Page et al., 2021), se garantizó la transparencia y trazabilidad del proceso mediante un protocolo sistemático de búsqueda y elegibilidad, prescindiendo de procedimientos estadísticos inferenciales.

La revisión sistemática se desarrolló siguiendo las cuatro fases propuestas por la declaración PRISMA 2020: identificación, cribado, elegibilidad e inclusión. En cada etapa se registró el número de documentos recuperados, excluidos y finalmente incorporados para el análisis, con el fin de garantizar la transparencia y reproducibilidad del proceso de selección (Page et al., 2021).

La estrategia de búsqueda operativa integró operadores booleanos (AND, OR) en bases de datos bibliográficas de alto impacto (Scopus, SciELO, Redalyc, Google Scholar), repositorios de editoriales científicas (ScienceDirect, Springer) y el portal institucional de la FAO. Los descriptores utilizados fueron: *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.*

Los registros recuperados fueron exportados a una matriz de revisión para eliminar duplicados y posteriormente fueron evaluados mediante la lectura del título y resumen. Los estudios potencialmente elegibles fueron revisados en texto completo para verificar el cumplimiento de los criterios de inclusión y exclusión.

Criterios de inclusión y exclusión

Se seleccionaron documentos publicados entre 2020 y 2025 que evaluaran la relación entre los sistemas silvopastoriles y la productividad lechera bovina de cualquier grupo racial y nivel productivo, incluyendo artículos originales, tesis de maestría y estudios de caso con sustento metodológico. La revisión comprendió indicadores de producción de leche por vaca, carga animal, abarcando sistemas multiestrato, árboles dispersos, cercas vivas y especies fijadoras de nitrógeno. Se excluyeron publicaciones previas a 2020, estudios desarrollados fuera de los cuatro países delimitados, trabajos sobre especies pecuarias distintas al bovino, así como documentos sin respaldo institucional reconocido, resúmenes de congresos o contenido web carente de rigor científico.

La síntesis descriptiva final permitió discernir tendencias, convergencias y divergencias en los hallazgos reportados. Durante la redacción del manuscrito, se empleó ChatGPT (OpenAI) estrictamente como herramienta de apoyo estilístico; la interpretación, validación de resultados y el contenido original son responsabilidad exclusiva de los autores, asegurando la fidelidad total a la evidencia científica revisada.

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 reproducible.

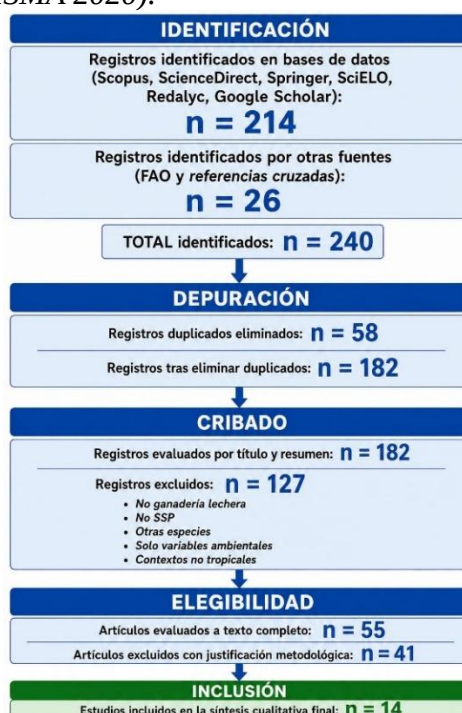
Según el diagrama de flujo mostrado en la figura 1, en la fase de identificación se recuperaron 240 registros procedentes de bases de datos científicas y fuentes institucionales. Tras eliminar 58 duplicados, se procedió al cribado de 182 documentos por título y resumen; en esta etapa se excluyeron 127 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 41 fueron descartados por no reportar indicadores productivos cuantificables o por presentar limitaciones metodológicas.

Finalmente, 14 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 14 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

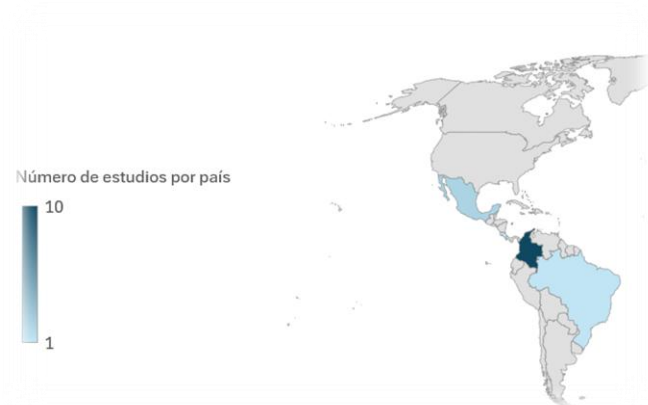
metodológica y los principales resultados productivos de cada estudio se sistematizaron en una matriz de extracción que permitió un análisis comparativo coherente de los hallazgos.

Distribución geográfica de los estudios incluidos

Los 14 estudios incluidos en la revisión fueron publicados entre 2020 y 2025 y se desarrollaron en cuatro países de Latinoamérica. Como se observa en la figura 2 Colombia concentró el mayor número de investigaciones ($n = 10$), seguida de México ($n = 2$), Costa Rica ($n = 1$) y Brasil ($n = 1$). La mayor representación de estudios en Colombia refleja el creciente interés científico por la implementación de sistemas silvopastoriles en sistemas de producción lechera, particularmente mediante el uso de especies arbóreas y arbustivas de alto valor forrajero.

Figura 2.

Distribución geográfica de los estudios incluidos en la revisión sistemática sobre el impacto de los sistemas silvopastoriles en los índices productivos del ganado bovino lechero en Latinoamérica (2020–2025).



Nota. Elaboración propia con base en los estudios incluidos en la revisión sistemática. La intensidad del color representa el número de estudios por país.

Caracterización de los estudios incluidos

La Tabla 1 presenta las principales características de los estudios seleccionados para la revisión sistemática. Se incluyen aspectos relacionados con el país, el tipo de sistema silvopastoril evaluado, las especies arbóreas y forrajeras utilizadas, las variables productivas analizadas y los principales hallazgos reportados por cada investigación. Esta caracterización

permitió identificar las diferencias metodológicas y las tendencias generales de la evidencia científica disponible.

Tabla 1.

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

Autor, Año y País	Configuración y Especies	Principales Hallazgos		
		Carga (UA/ha)	Animal	Producción y Calidad de Leche.
(González Quintero et al. 2024) Colombia	(SSP) Árboles dispersos <i>A. acuminata</i> y pastos mejorados <i>U. brizantha</i> , <i>L. perenne</i>	(SM)y(SSP): Finca 1: 0.8 UA/ha. Finca 2: 3.1 UA/ha. Finca 3: 0.4 UA/ha. Finca 4: 0.3 UA/ha		FPCM/Kg/vaca/año. F1: (SM): 1508.2 a (SSP): 2073.7 (↑37.5%) F2: (SM): 2450.8 a (SSP): 3393.4 (↑38.5%) F3: (SM): 1508.2 a (SSP): 2262.3 (↑50%) F4:(SM): 2262.3 a (SSP): 3016.4 (↑33.3%)
(Cardona et al. 2022) Colombia	(SSP) Árboles dispersos <i>A. acuminata</i> . <i>gramínea kikuyo</i> (<i>C. clandestina</i>) y <i>T. diversifolia</i>	1.4 ha para cada sistema, las cuales se dividieron en 36 franjas con un 1 día de ocupación. 6 vacas por sistema.		Litros/vaca/día. (SM): 24.89L (SSP): 28.24L (aumento significativo) (%Prot/leche) (SM): 2.89% (SSP): 3%. (p < 0.05)
				PC % (SM): Kikuyo:23.9% (SSP): Tithonia:18.3% y Kikuyo: 20.3%. MS % (SM): Kikuyo:14.1% (SSP): Tithonia:18% y Kikuyo: 14.7%.; aumento significativo de digestibilidad aparente del nitrógeno
(Lopera-Marín et al. 2025) Colombia	<i>T. diversifolia</i> y gramínea kikuyo (Análisis basado en datos de Cardona et al., 2022 para el escenario del 17.5% e información complementaria para el 5%).			Litros/vaca/día. Al 5% de T (SM): 25.6 L (SSP): 25.5 L (p > 0.05) (↑) (AG) en Leche (p < 0.05) Al 17.5% de T (SM): 24.89. L. (SSP): 28.24. L. (p< 0.05). (↑) (AG) en Leche. (p < 0.05), apoyado con suplemento.

Autor, Año y País	Configuración y Especies	Principales Hallazgos			
		Carga (UA/ha)	Animal	Producción y Calidad de Leche.	Calidad forrajera
(Hoyos Rojas et al., 2021) Colombia.	(SSP) Árboles dispersos <i>A. acuminata</i> y <i>T. diversifolia</i> , <i>A. acuminata</i> + pasto Kikuyo y Ryegrass	.		kg/vaca/día. (SSP)R: +2.9 kg vs. (SM)R. (SM)R: -1.6kg vs. (SSP)RK (sin diferencias significativas) (SSP)R: (↑) significativo de lactosa.	PC % Pasto:(K): 18.5%. (R): 23.7%. Arbusto:(T.d):22%.
(Rivera et al., 2022) Colombia.	<i>T. diversifolia</i> y <i>Brachiaria humidicola</i> .			FPCM/kg/vaca/día. E.Lluvias Moderadas: (SM) :4.81kg (SSP):5.36kg (P<0.05) (SSP): (↑)Grasa y prot. (P<0.05) E.Lluviosa:(SM):5.0 2kg; (SSP):5.37kg. (p=0.44). (SSP): sin aumento significativo de Grasa y Prot	MS % E.Lluvias Moderadas: (SM): 205.7 g/kg (SSP): 197.4 g/kg E.Lluviosa: (SM): 200.9 g/kg (SSP): 190.4 g/kg PC % E.Lluvias Moderadas: (SM): 118.9 g/kg de MS (SSP): 152.1 g/kg de MS E.Lluviosa: (SM): 86.4 g/kg (SSP): 116.7 g/kg
(Rivera et al. 2023) Colombia.	(SSP) intensivo <i>Leucaena leucocephala</i> +, <i>M. maximus</i> y <i>B. pertusa</i> .	(SM):0.80 UA/ha (SSP):2.23UA/ha		FPCM /Kg /vaca/día E.Seca:(SM):3.2kg; (SSP) :4.9 kg E.Lluvia:(SM):3.6.k g.; (SSP):5.64 kg.; (%Grasa): (SM): 4.10%. (SPS): 4.24%. (%Prot): (SM): 3.34%. (SPS): 3.36% Aumento numérico (sin análisis estadístico)	PC % E.seca:(SM):7.95% (SSP):12.73%. E.Lluvias:(SM):9.14% (SSP):15.22% MS % E.seca:(SM):22.58% (SSP):21.26%. E.Lluvias:(SM):21.55% (SSP):19.55% Degradabilidad in vitro de MS. E.seca:(SM):55.22% (SSP):57.16%. E.Lluvias:(SM):60.63% (SSP):62.18%

Autor, Año y País	Configuración y Especies	Principales Hallazgos		
		Carga (UA/ha)	Animal	Producción y Calidad forrajera
(David Lagos, 2021)	SSP:	(SM)y(SSP):	kg/vaca/día	MS %: (SSP)L:17.05%.
	<i>T.diversifolia</i> .	7UA	en	(SSP)T:19.27%.
Costa Rica	<i>Leucaena diversifolia</i> y	2500 m ² permanecían	(SSP)T:21.19	(SM):21.81%. (P<0.05).
	<i>Pasto Cayman</i> (U. días	3 a 5 días con periodo de descanso de 60 días	(SSP)L:22.89(P<0.05).	PC %
	<i>hybrid</i> cv. CIAT BR02/1752)		(SSP)L: (↑) significativo de lactosa. Sin aumento de Grasa, Prot y Sólidos	(SM):9.23%
			(SSP)T: Sin aumento de Grasa, Prot, Lactosa y Sólidos	(SSP)T:9.98%
				(SSP)L:11.75% (P<0.05)
(Sarabia-Salgado et al., 2020).	(SSP).	(SSP):1.3UA/ha.	kg/vaca/ día	PC % a los 35 días
	<i>Leucaena leucocephala</i> y	(SM):1.1UA/ha.	(SM.):4.7kg.	(SSP): Arbusto (L.l): 29%
México	<i>Megathyrsus maximus</i> .		(SSP):7.4kg. (p<0.001)	Pasto: (M.m):9.9%
				(SM): Pasto: (M.m):8.4%.
				PC % a los 50 días
				(SSP): Arbusto (L.l): 26.1%
				Pasto: (M.m):7.8%
				(SM): Pasto: (M.m):7.4%.
				MS % a los 35 días
				(SSP): Arbusto (L.l): 24.3%
				Pasto: (M.m):22.9%
				(SM): Pasto: (M.m): 23.8%.
				MS % a los 50 días
				(SSP): Arbusto (L.l): 26.5%
				Pasto: (M.m):24.6%
				(SM): Pasto: (M.m):23.4%.
(Sarabia-Salgado et al., 2023)	(SSP)	E.	Lluvias:	(%) digestibilidad del forraje
	intensivo de	(SM)y(SSP):	kg/vaca/día	E.Lluvias:(Pasto):65%.
México	<i>Leucaena leucocephala</i> y	4.8UA/ha	(SM): 7.1 kg	(Leucaena):76%.
	<i>Cynodon nlemfuensis</i> .	E.Seca: (SM)y(SSP):	(SSP):6.31kg (p=0.05).	E.Seca:(Pasto):52%.
		3.4UA/ha.	.	(Leucaena):69%.

Autor, Año y País	Configuración y Especies	Principales Hallazgos			
		Carga (UA/ha)	Animal	Producción y Calidad de Leche.	Calidad forrajera
(Narváez-Herrera et al., 2025) Colombia	(SSP) (<i>Erythrina poeppigiana</i> , <i>Clitoria fairchildiana</i> , <i>Guazuma ulmifolia</i> , <i>Piptocoma discolor</i> . y pasto, <i>Urochloa decumbens</i> .	UA/ha (SM.): 1.63 UA. (SSP):2.89UA. cálculo estimado (SM.): 1.8 UA. (SSP): 2.5 UA		kg/vaca/día (SM) :12.92 kg (SSP) 14.13 kg (p<0.001) Sin diferencias significativo en Prot, grasa y solidos FPCM/vaca/kg/ año cálculo estimado (SM): 3969 kg (SSP): 4322 kg, (p<0.001).	PC % (SSP):P. discolor:25.01% y <i>U. decumbens</i> 9.79 % (SM): <i>U. decumbens</i> :8.64%. MS % (SSP):P. discolor:25.70% y <i>U. decumbens</i> 23.0 % (SM): <i>U. decumbens</i> :22.85%.
(Abreu et al. 2020) Brasil.	parcelas de pasto (<i>Cynodon dactylon</i>) con o sin acceso a sombra de árboles naturales.	Para los dos tratamientos.r: 8 vacas en 0.8 hectáreas por día. Dimensión total del potrero: Rectángulos de 40 × 700 m. por grupo.		kg/vaca/día Sin sombra:17.7 kg, Con sombra:19.4kg (P > 0.05).; (1)Prot/leche(P<0.05).; Mejoro la estabilidad (P<0.05) atribuido a que la sombra permitió mitigar los efectos del estrés térmico y (ITH elevado)	-
(Álvarez et al. 2020) Colombia.	(SSP) Arboles dispersos. : <i>P.discolor</i> , <i>B.pentamera</i> , <i>V.orinocensis</i> , <i>P. guajava</i> y <i>B.decumbens</i>	Grupos de 3 vacas pastoreaba en (1 ha) durante 15 días. Cada vaca fue evaluada en los tres niveles de cobertura, pasando por ellos sucesivamente hasta completar 45 días. (9 vacas y 9 ha en total).		kg/vaca/día. (BC):4.13 (MC):4.43. (p<0.05). (AC):4.39.	
(Mavisoy et al., 2025b) Colombia.	(SSP) Cercas vivas, <i>E.globulus</i> , <i>A.acuminata</i> , <i>A.melanoxylo</i> n. <i>F.chinensis</i> y <i>P.radiata</i> . <i>S.humboldtiana</i>			FPCM/kg/vaca/año (AC)3232kg, (MC):3458 kg (BC):2883kg. Sin diferencia significativas entre sistemas.	.

Autor, Año y País	Configuración y Especies	Principales Hallazgos			
		Carga (UA/ha)	Animal	Producción y Calidad de Leche.	Calidad forrajera
(Mavisoy et al., 2025a) Colombia.	(SSP) Bosquetes y cercas vivas con <i>E.globulus</i> , <i>A.acuminata</i> , <i>A.melanoxylo</i> n. <i>F.chinensis</i> y <i>P.radiata</i> . <i>S.humboldtia</i> na.	(AC):1.4UA/ha. (MC):1.1UA/ha. (BC):1.2UA/ha. No significativo	No	FPCM/kg/vaca/año (AC)3232kg, (MC):3458 kg (BC):2883kg. Sin diferencia significativas entre sistemas.	

Nota: SSP = Sistema Silvopastoril; SM = Sistema Monocultivo ; E. = Época climática del año (ej. E. Seca, E. Lluvia, E. Lluviosa, E. Lluvias Moderadas); F / F1 / F2 / F3 / F4 = Fincas evaluadas en el estudio; BC = Baja Cobertura arbórea; MC = Media Cobertura arbórea; AC = Alta Cobertura arbórea; T = Tratamiento con inclusión de *Tithonia diversifolia*; L = Tratamiento con inclusión de *Leucaena*; R = Pastoreo en Ryegrass; K = Pastoreo en Kikuyo; UA/ha = Unidades Animales por hectárea; FPCM = Leche Corregida por Grasa y Proteína (Fat and Protein Corrected Milk); PC = Proteína Cruda; MS = Materia Seca; Prot= proteína; ITH = Índice de Temperatura-Humedad; AG = Ácidos Grasos; *p* o *P* = Valor de significancia estadística; (*p* < 0.05) o (*p* < 0.001) = Existen diferencias estadísticas significativas entre los sistemas evaluados; (*p* > 0.05) = Las diferencias observadas no son estadísticamente significativas; (↑) = Incremento del SSP en comparación con el SM.

Tendencias generales de la evidencia científica

La síntesis de los estudios incluidos mostró un predominio de resultados favorables hacia los sistemas silvopastoriles (SSP) en comparación con los sistemas convencionales de producción lechera (tabla 1). En relación con la producción de leche o la producción de leche corregida por grasa y proteína (FPCM), los 14 estudios incluidos evaluaron esta variable; de

ellos, ocho reportaron evidencia favorable para los SSP, de los cuales seis reportaron incrementos estadísticamente significativos y dos incrementos numéricos (González Quintero et al., 2024; Cardona et al., 2022; Rivera et al., 2022; Rivera et al., 2023; David Lagos, 2021; Sarabia-Salgado et al., 2020; Narváez-Herrera et al., 2025; Álvarez et al., 2020)., mientras que seis no encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas evaluados. (Abreu et al., 2020; Sarabia-Salgado et al., 2023; Mavisoy et al., 2025a, 2025b; Hoyos Rojas et al., 2021; Lopera-Marín et al., 2025).

Tabla 2.

Tendencias generales de los estudios incluidos en la revisión

Variable evaluada	Estudios que evaluaron la variable (n)	Evidencia favorable al SSP	Sin diferencias significativas	No evaluado
Producción de leche/FPCM	14	8	6	0
Componentes de la leche	8	7	1	6
Carga animal	4	3	1	10

Nota. FPCM = leche corregida por grasa y proteína. Elaboración propia.

Respecto a los componentes de la leche, ocho investigaciones analizaron al menos uno de estos indicadores, observándose incrementos o tendencias favorables en siete estudios, principalmente mediante incrementos en el contenido de proteína, lactosa, ácidos grasos o estabilidad de la leche (Cardona et al., 2022; Lopera-Marín et al., 2025; Hoyos Rojas et al., 2021; Rivera et al., 2022; David Lagos, 2021; Abreu et al., 2020; Rivera et al., 2023). En contraste, Narváez-Herrera et al. (2025) registraron valores similares para el contenido de proteína, grasa y sólidos entre los sistemas evaluados. Por otra parte, Abreu et al. (2020) también informó una mayor estabilidad de la leche bajo condiciones de sombra.

En cuanto a la carga animal, tres investigaciones reportaron una mayor capacidad de carga en los sistemas silvopastoriles respecto a los sistemas convencionales (Rivera et al., 2023; Sarabia-Salgado et al., 2020; Narváez-Herrera et al., 2025), mientras que Mavisoy et al.

(2025a) registraron valores similares entre los tratamientos evaluados, sin diferencias significativas. Los demás estudios no reportaron la carga animal como variable de respuesta.

Finalmente, nueve estudios evaluaron la calidad del forraje, evidenciando mejoras en variables como el contenido de proteína cruda, la digestibilidad y la disponibilidad de biomasa, aspectos que se relacionan con un mejor desempeño productivo del ganado bovino lechero. En cinco estudios se registraron mayores contenidos de proteína cruda en los sistemas silvopastoriles (Rivera et al., 2022; Rivera et al., 2023; David Lagos, 2021; Sarabia-Salgado et al., 2020; Narváez-Herrera et al., 2025), mientras que Cardona et al. (2022) no evidenció aumentos en sistema silvopastoril y Hoyos Rojas et al. (2021) únicamente reportaron los valores obtenidos para los sistemas evaluados.

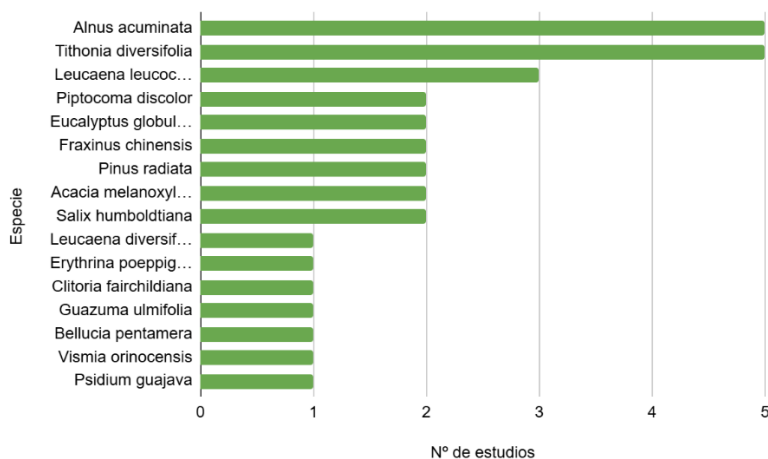
Cardona et al. (2022) y Narváez-Herrera et al. (2025) evidenciaron un aumento en el contenido de materia seca en sistemas silvopastoriles (SSP), mientras que Sarabia-Salgado et al. (2020) observaron este incremento tanto a los 35 como a los 50 días de evaluación, siendo más marcado a los 50 días. En contraste, otros estudios no registraron aumentos en el contenido de materia seca (Rivera et al., 2022; Rivera et al., 2023; David Lagos, 2021). Además, Cardona et al. (2022) observaron una mayor digestibilidad aparente del nitrógeno en el sistema silvopastoril. De manera consistente, Sarabia-Salgado et al. (2023) registraron una mayor digestibilidad del forraje en *Leucaena leucocephala* que en el pasto, tanto en época de lluvias como en época seca. Asimismo, Rivera et al. (2023) reportaron una mayor degradabilidad in vitro de la materia seca en los sistemas silvopastoriles respecto al monocultivo durante ambas épocas climáticas. Finalmente, Lopera-Marín et al. (2025) registraron un mayor crecimiento de los arbustos y un mayor suministro de forraje conforme aumentó la inclusión de *Tithonia diversifolia*.

Frecuencia de las especies arbóreas y arbustivas evaluadas

Los estudios incluidos evaluaron una amplia diversidad de especies arbóreas y arbustivas empleadas en sistemas silvopastoriles para la producción de leche bovina. Como se observa en la Figura 3, *Alnus acuminata* y *Tithonia diversifolia* fueron las especies más frecuentemente evaluadas, registradas en cinco estudios cada una. Les siguieron *Leucaena leucocephala*, presente en tres investigaciones, y *Piptocoma discolor*, registrada en dos estudios. Asimismo, *Eucalyptus globulus*, *Fraxinus chinensis*, *Pinus radiata*, *Acacia melanoxylon* y *Salix humboldtiana* fueron reportadas en dos investigaciones cada una. Las especies *Leucaena diversifolia*, *Erythrina poeppigiana*, *Clitoria fairchildiana*, *Guazuma ulmifolia*, *Bellucia pentamera*, *Vismia orinocensis* y *Psidium guajava* fueron registradas en un único estudio.

Figura 3.

Frecuencia de las especies arbóreas y arbustivas evaluadas en los estudios incluidos en la revisión sistemática sobre sistemas silvopastoriles y producción de leche bovina (2020–2025)



Nota. Elaboración propia. La frecuencia corresponde al número de estudios en los que se evaluó cada especie.

La mayor frecuencia de evaluación de *Alnus acuminata* y *Tithonia diversifolia* refleja el interés de la investigación reciente por integrar especies con alto potencial para mejorar el desempeño productivo y ambiental de los sistemas silvopastoriles. Mientras *A. acuminata* ha

sido ampliamente utilizada como árbol de sombra en sistemas de trópico alto, *T. diversifolia* destaca por su elevado valor nutritivo como arbusto forrajero.

Discusión

La evidencia sintetizada en la presente revisión muestra una tendencia consistente hacia un mejor desempeño productivo del ganado bovino lechero bajo sistemas silvopastoriles, reflejada principalmente en aumentos de la producción de leche y de la leche corregida por grasa y proteína (FPCM). En la mayoría de los estudios analizados, la incorporación de especies arbóreas y arbustivas en los sistemas de pastoreo favorece estos indicadores en comparación con los sistemas convencionales, aunque la magnitud de la respuesta varía según la composición del sistema y el nivel de inclusión de las especies forrajeras. González Quintero et al. (2024) atribuyen el incremento de entre 33.3 y 50 % en la FPCM vaca/año a la mayor disponibilidad y calidad del forraje derivada de la implementación de sistemas silvopastoriles y pasturas mejoradas, junto con mejoras en las prácticas de manejo. En concordancia, Cardona et al. (2022) registran un aumento significativo en la producción diaria de leche con la inclusión de *Tithonia diversifolia*, mientras que Hoyos Rojas et al. (2021) observaron una mayor producción de leche en el sistema silvopastoril, aunque las diferencias respecto al monocultivo no fueron significativas. Sarabia-Salgado et al. (2020) observan una producción significativamente mayor en los sistemas silvopastoriles con *L. leucocephala*, resultado que los autores atribuyen principalmente al mayor contenido de proteína del forraje y a una utilización más eficiente del nitrógeno en el rumen. De igual forma, Rivera et al. (2023) reportan una mayor producción de FPCM en el sistema silvopastoril durante ambas épocas evaluadas, siendo la diferencia más marcada en la época lluviosa.

No obstante, la respuesta productiva no es uniforme en todos los estudios. Rivera et al. (2022) encuentran diferencias significativas únicamente durante la época de lluvias moderadas,

mientras que en la época lluviosa la producción de FPCM fue similar entre tratamientos. Los autores atribuyen la mayor respuesta productiva observada durante la época de lluvias moderadas a un mejor balance energía-proteína y a una mayor disponibilidad de nutrientes en el rumen, favorecidos por la inclusión de *Tithonia diversifolia*, aun cuando el consumo total de materia seca no difirió entre tratamientos. De forma similar, Lopera-Marín et al. (2025) sugieren que una mayor participación de *Tithonia diversifolia* en el sistema silvopastoril favorece la respuesta productiva, ya que el sistema con 17.5 % de inclusión presentó incrementos significativos en la producción de leche, coincidiendo con un mayor desarrollo de los arbustos y una mayor oferta de forraje. En contraste, Mavisoy et al. (2025a, 2025b), Abreu et al. (2020) y Sarabia-Salgado et al. (2023) no encuentran diferencias significativas en la producción de leche entre los sistemas evaluados, lo que evidencia que la incorporación del componente arbóreo no siempre se traduce en incrementos significativos del rendimiento productivo. Estos hallazgos indican que el efecto de los sistemas silvopastoriles sobre la producción de leche depende no solo de la presencia del componente arbóreo, sino también de su densidad, composición y manejo dentro del sistema.

Además del volumen producido, diversos estudios evidencian mejoras en la calidad de la leche asociadas a los sistemas silvopastoriles. Cardona et al. (2022) registran un incremento significativo en el contenido de proteína de la leche, asociado con una mayor digestibilidad aparente del nitrógeno, una menor excreción urinaria y una mayor eficiencia de utilización de este nutriente. Asimismo, Hoyos Rojas et al. (2021) reportan incrementos significativos en el contenido de lactosa bajo sistema silvopastoril con pasto *ryegrass*. Lopera-Marín et al. (2025) observan una mejora en el perfil de ácidos grasos de la leche al incrementar la inclusión de *T. diversifolia*, mientras que Abreu et al. (2020) señalan que el acceso a sombra natural permite preservar la estabilidad de la leche al reducir el estrés térmico. Por su parte, David Lagos (2021) encuentra que la incorporación de *Leucaena diversifolia* incrementa la producción diaria de

leche y el contenido de lactosa, aunque los porcentajes de grasa, proteína y sólidos totales no difieren significativamente entre tratamientos. La evidencia indica que los sistemas silvopastoriles no solo favorecen el rendimiento volumétrico, sino que también pueden mejorar determinados atributos composicionales de la leche.

La mayor capacidad de carga observada en varios estudios constituye otro de los efectos productivos más relevantes de los sistemas silvopastoriles. Rivera et al. (2023) registran una mayor capacidad de carga en los sistemas con *Leucaena leucocephala*. De manera semejante, Narváez-Herrera et al. (2025) reportan mayores cargas animales, relacionando este comportamiento con una mayor biomasa forrajera. Sarabia-Salgado et al. (2020) reportan una mayor carga animal en el sistema silvopastoril, asociándola con la mayor disponibilidad de forraje de alta calidad y el aporte de nitrógeno derivado de la fijación biológica de *Leucaena leucocephala*. En contraste, Mavisoy et al. (2025a) no encontraron diferencias significativas en la carga animal entre fincas con diferentes niveles de cobertura silvopastoril. En conjunto, la evidencia revisada sugiere que la respuesta de la carga animal depende de múltiples factores, entre ellos la disponibilidad y calidad del forraje, la composición del sistema y las prácticas de manejo.

Las mejoras observadas en la producción de leche y en la capacidad de carga sugieren una estrecha relación con la mayor calidad nutricional del forraje proporcionada por los sistemas silvopastoriles. Rivera et al. (2022) registran mayores contenidos de proteína cruda bajo sistemas con *T. diversifolia* durante ambas épocas climáticas, mientras que Rivera et al. (2023) reportan un mayor contenido de proteína cruda en la dieta asociado con la presencia de *L. leucocephala*. En concordancia, David Lagos (2021) encuentra que el asocio con *Leucaena diversifolia* incrementa significativamente el contenido de proteína cruda del pasto Cayman y aporta una mayor biomasa comestible, condiciones que coinciden con una mayor producción diaria de leche observada en este sistema. Sarabia-Salgado et al. (2020) demuestran que *L.*

leucocephala presenta un contenido de proteína cruda considerablemente superior al de la gramínea, además de fijar nitrógeno atmosférico y transferir parte de este al pasto asociado, contribuyendo a mejorar la calidad nutricional del recurso forrajero. Asimismo, Narváez-Herrera et al. (2025) registran mayores concentraciones de proteína cruda en las especies arbóreas que en la gramínea predominante del sistema convencional. De forma complementaria, Lopera-Marín et al. (2025) señalan que una mayor inclusión de *T. diversifolia* favorece la disponibilidad de forraje. En conjunto, estos resultados sugieren que la mejora del valor nutritivo del forraje constituye uno de los mecanismos centrales responsables del incremento de la productividad animal en sistemas silvopastoriles.

Además de mejorar la calidad nutricional y la disponibilidad del forraje, los sistemas silvopastoriles pueden favorecer su aprovechamiento por el animal. Cardona et al. (2022) observan una mayor digestibilidad aparente del nitrógeno en estos sistemas, lo que se asocia con una utilización más eficiente de este nutriente. De manera consistente, Sarabia-Salgado et al. (2023) registran una mayor digestibilidad del forraje de *Leucaena leucocephala* respecto al pasto durante ambas épocas climáticas, mientras que Rivera et al. (2023) reportan una mayor degradabilidad in vitro de la materia seca en los sistemas silvopastoriles. Estos resultados indican que la incorporación de especies arbóreas y arbustivas puede mejorar el aprovechamiento del recurso forrajero; sin embargo, estas mejoras no necesariamente se traducen en incrementos significativos de la producción de leche, ya que su respuesta depende de las condiciones de manejo y de la composición del sistema.

Las variables fisiológicas y ambientales evaluadas complementan la explicación de la respuesta productiva descrita en los estudios analizados. Abreu et al. (2020) muestran que el acceso a sombra natural durante periodos de estrés térmico atenúa las condiciones ambientales a las que están expuestas las vacas, mejora la estabilidad y la acidez de la leche y aumenta significativamente el contenido de proteína, aunque no incrementa significativamente la

producción de leche. En la misma línea, Álvarez et al. (2020) observaron que niveles intermedios y altos de cobertura arbórea se asociaron con una mayor producción de leche, atribuyendo este efecto a la generación de un microclima más favorable y a la reducción del estrés térmico, que favorecen el bienestar animal y el consumo de forraje. Asimismo, Narváez-Herrera et al. (2025) señalan que el componente arbóreo proporciona sombra dentro del sistema silvopastoril, lo que constituye un posible mecanismo asociado al mejor desempeño productivo, aunque esta variable no fue evaluada directamente en su estudio.

Conclusiones

La evidencia analizada indica que los sistemas silvopastoriles constituyen una alternativa con potencial para mejorar los índices productivos del ganado bovino lechero en sistemas de producción de Latinoamérica. En la mayoría de los estudios incluidos se observaron incrementos en la producción de leche, la leche corregida por grasa y proteína (FPCM), algunos componentes de la leche y la capacidad de carga, asociados principalmente a una mayor calidad nutricional del forraje, caracterizada por un incremento del contenido de proteína cruda, una mayor digestibilidad y disponibilidad de biomasa. No obstante, la magnitud de la respuesta productiva no fue uniforme entre los estudios, ya que dependió de factores como la composición del sistema silvopastoril, el nivel de inclusión de las especies arbóreas y arbustivas y las condiciones climáticas evaluadas. En conjunto, los resultados respaldan el uso de los sistemas silvopastoriles como una estrategia de producción sostenible que puede contribuir al mejoramiento del desempeño productivo del ganado bovino lechero cuando su diseño y manejo se adaptan a las características de cada sistema.

Referencias bibliográficas

Abreu, A. S., Fischer, V., Stumpf, M. T., McManus, C. M., González, F. H. D., da Silva, J. B. S., & Heisler, G. (2020). Natural tree shade increases milk stability of lactating dairy

- cows during the summer in the subtropics. *Journal of Dairy Research*, 87(4), 452–456. <https://doi.org/10.1017/S0022029920000916>
- Álvarez, F., Casanoves, F., Suárez, J. C., & Pezo, D. (2020). The effect of different levels of tree cover on milk production in dual-purpose livestock systems in the humid tropics of the Colombian Amazon region. *Agroforest Systems*. <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00566-7>
- Bernabucci, U., Lacetera, N., Baumgard, L. H., Rhoads, R. P., Ronchi, B., & Nardone, A. (2010). Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal*, 4(7), 1167–1183. <https://doi.org/10.1017/S175173111000090X>
- Brook, R., Forster, E., Styles, D., Mazzetto, A. M., Arndt, C., Esquivel, M. J., & Chadwick, D. (2022). Silvopastoral systems for offsetting livestock emissions in the tropics: A case study of a dairy farm in Costa Rica. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(5), 101. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00834-z>
- Cardona, J. L., Angulo, J., & Mahecha, L. (2022). Less nitrogen losses to the environment and more efficiency in dairy cows grazing on silvopastoral systems with *Tithonia diversifolia* supplemented with polyunsaturated fatty acids. *Agroforestry Systems*, 96(4), 859–874. <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00722-7>
- Chamorro, C., Cudney, S., Morgan, S., & 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>
- David Lagos, K. L. (2021). *Evaluación productiva del pasto Cayman (Urochloa híbrido cv. CIAT BRO2/1752) en sistemas silvopastoriles en el trópico húmedo de Costa Rica* [Tesis de Maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]. Repositorio Institucional del CATIE. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/11592>
- Dollinger, J., & Jose, S. (2018). Agroforestry for soil health. *Agroforestry Systems*, 92(2), 213–219. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0223-9>
- Dumont, B., Fortun-Lamothe, L., Jouven, M., Thomas, M., & Tichit, M. (2013). Prospects from agroecology and industrial ecology for animal production in the 21st century. *Animal*, 7(6), 1028–1043. <https://doi.org/10.1017/S1751731112002418>
- Franzluebbers, A. J. (2007). Integrated crop-livestock systems in the southeastern USA. *Agronomy Journal*, 99(2), 361–372. <https://doi.org/10.2134/agronj2006.0076>
- Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A., & Tempio, G. (2013). Tackling Climate Change Through Livestock: A Global

- Assessment of Emissions and Mitigation Opportunities. FAO.
<https://www.fao.org/3/i3437e/i3437e.pdf>
- Gonzalez Quintero, R., García, E. H., Florez, F., Burkart, S., & Arango, J. (2024). A case study on enhancing dairy cattle sustainability: The impact of silvopastoral systems and improved pastures on milk carbon footprint and farm economics in Cauca department, Colombia. *Agroforestry Systems*, 98, 3001–3018. <https://doi.org/10.1007/s10457-024-01070-y>
- Herrero, M., Henderson, B., Havlík, P., Thornton, P. K., Conant, R. T., Smith, P., Wiersenius, S., Hristov, A. N., Gerber, P., Gill, M., Butterbach-Bahl, K., Valin, H., Garnett, T., & Stehfest, E. (2016). Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector. *Nature Climate Change*, 6, 452–461. <https://doi.org/10.1038/nclimate2925>
- Hoyos-Rojas, J. E., Angulo-Arizala, J., Mahecha-Ledesma, L., Houwers, H. W., & Cerón-Muñoz, M. F. (2021). Comparación productiva y de calidad en leche de vacas Holstein pastoreando en diferentes sistemas del trópico alto. *Acta Agronómica*, 70(1), 35–41. <https://doi.org/10.15446/acag.v70n1.80801>
- Jose, S. (2009). Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: An overview. *Agroforestry Systems*, 76, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s10457-009-9229-7>
- Jose, S., & Dollinger, J. (2019). Silvopasture: A sustainable livestock production system. *Agroforestry Systems*, 93, 1–9. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00366-8>
- Jover, C., Vivas, A., & Coronel, J. (2020). Importancia de la producción pecuaria ecuatoriana: Entre la autosuficiencia alimentaria y el impacto ambiental. *II Jornada Científica Ciencia, Tecnología, Innovación y Emprendimiento para el Desarrollo Sostenible de la Provincia de Manabí - ULEAM Extensión Chone* https://www.researchgate.net/publication/340364202_Importancia_de_la_produccion_pecuaria_ecuatoriana_Entre_la_autosuficiencia_alimentaria_y_el_impacto_ambienta
- Kay, S., Rega, C., Moreno, G., den Herder, M., Palma, J. H. N., Borek, R., Crous-Duran, J., Freese, D., Giannitsopoulos, M., Graves, A., Jäger, M., Lamersdorf, N., Memedemin, D., Mosquera-Losada, M. R., Pantera, A., Paris, P., Rosati, A., Sandor, M., Smith, J., ... Burgess, P. J. (2019). Agroforestry creates carbon sinks whilst enhancing the environment in agricultural landscapes in Europe. *Land Use Policy*, 83, 581–593. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.02.025>
- Krüger, A., Lima, P., Ovani, V., Pérez, S., Louvandini, H., & 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>
- Lopera-Marín, J. J., Angulo-Arizala, J., & Mahecha-Ledesma, L. (2025). Silvopastoral systems with wild sunflower (*Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray) and lipid supplementation: a strategy to improve the fatty acid profile of milk in dairy livestock systems. *Agroforestry Systems*, 99(1), 106. <https://doi.org/10.1007/s10457-025-01195-8>

- Manchado, R., Tamames, S., López, M., Mohedano, L., D'Agostino, M., & Veiga, J. (2009). Revisiones sistemáticas exploratorias. *Medicina y Seguridad del Trabajo*, 55(216), 12–19. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0465-546X2009000300002
- Mavisoy, H., Castro Rincón, E., Riascos Vallejos, A. R., Narváez-Herrera, J. P., Rosas, L., Guerra Acosta, A. del S., Riascos Salcedo, A. A., Aguillon Alban, D. M., Chingal, C., de Almeida, A. M., & Fanguero, D. (2025). Carbon stocks, technological development, and milk yields of dairy cattle silvopastoral production systems in the Andean-amazon region of Colombia. *Agroforestry Systems*, 99, 49. <https://doi.org/10.1007/s10457-025-01151-6>
- Mavisoy, H., Riascos Vallejos, A. R., Castro Rincón, E., Narváez-Herrera, J. P., Riascos Salcedo, A. A., de Almeida, A. M., Rosas, L., Guerra Acosta, A. del S., Aguillon Alban, D. M., Chingal, C., & Fanguero, D. (2025). Carbon balance in dairy cattle silvopastoral production systems in Colombia's Andean-Amazon region. *Agroforestry Systems*, 99, 136. <https://doi.org/10.1007/s10457-025-01233-5>
- McAdam, J. H., Burgess, P. J., Graves, A. R., Rigueiro-Rodríguez, A., & Mosquera-Losada, M. R. (2009). Classifications and functions of agroforestry systems in Europe. *Agroforestry Systems*, 77, 111–120. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4020-8272-6_2
- Montagnini, F., & Nair, P. K. R. (2004). Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 61–62, 281–295. <https://doi.org/10.1023/B:AGFO.0000029005.92691.79>
- Nair, P. K. R. (2012). Carbon sequestration studies in agroforestry systems: A reality-check. *Agroforestry Systems*, 86, 243–253. <https://doi.org/10.1007/s10457-011-9434-z>
- Narváez-Herrera, J. P., Angulo-Arizala, J., Barragán-Hernández, W. A., Riascos-Guerrero, Y. M., & Mahecha-Ledesma, L. (2025). Silvopastoral systems with native forage species and their impact on milk production and quality: a case study on a farm in the Colombian Amazonian foothills. *Agroforestry Systems*, 99, 216. <https://doi.org/10.1007/s10457-025-01292-8>
- OECD & FAO. (2023). OECD-FAO Agricultural Outlook 2023–2032. <https://doi.org/10.1787/08801ab7-en>
- Paciullo, D. S. C., Castro, C. R. T., Gomide, C. A. M., Maurício, R. M., Pires, M. F. A., Müller, M. D., & Xavier, D. F. (2011). Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. *Livestock Science*, 141(2–3), 166–172. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.05.012>
- Page, M., McKenzie, J., Bossuyt, P., Boutron, I., Hoffmann, T., Mulrow, C., & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *Research Methods & Reporting BMJ*, 372(71). <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>

- Pérez, V. M., López, S., Pérez, S., Pérez, P., Castillo, E., & 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://doi.org/10.1007/s10457-023-00897-1>
- Pezzopane, J. R. M., Nicodemo, M. L. F., Bosi, C., Garcia, A. R., & Lulu, J. (2019). Animal thermal comfort indexes in silvopastoral systems. *International Journal of Biometeorology*, 63, 533–546. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.12.015>
- Pinela, D., González, I., Cedeño, P., Álava, J., Villacis, S., & 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>
- Polsky, L., & von Keyserlingk, M. A. G. (2017). Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *Journal of Dairy Science*, 100(11), 8645–8657. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12651>
- Reed, J., Van Vianen, J., Deakin, E. L., Barlow, J., & Sunderland, T. (2017). Integrated landscape approaches to managing social and environmental issues in the tropics. *Global Change Biology*, 22(7), 2540–2554. <https://doi.org/10.1111/gcb.13284>
- Rivera, J. E., Villegas, G. O., Serna, L. P., & Chará, J. (2023). Cattle intensification based on silvopastoral systems with *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit as a strategy to increase cattle production and mitigate greenhouse gas emissions in the Caribbean region of Colombia. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3749949/v1>
- Rivera, J. E., Villegas, G., Romero, M. A., Verchot, L., Chará, J., & Durango, S. G. (2022). Effect of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray intake on in vivo methane (CH₄) emission and milk production in dual-purpose cows in the Colombian Amazon piedmont. *Translational Animal Science*, 6(4), 1–12. <https://doi.org/10.1093/tas/txac139>
- Roca, J. A., Muñoz, J., Zambrano, M., Vera, J., & Rivera, C. (2023). Influencia de la arborización en sistemas de pastoreo racional flexible sobre el estrés calórico en vacas mestizas. *Maestro y Sociedad*. <https://maestroysociedad.uo.edu.cu/index.php/MyS/article/view/6243/6677>
- Roca, J., Cedeño, J., Rengifo, F., & 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://maestroysociedad.uo.edu.cu/index.php/MyS/article/view/6179/6619>
- Sandoval, D., Florez, J., Valencia, K., Cabrera, M., & 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)

- Sarabia-Salgado, L., Alves, B. J. R., Boddey, R., Urquiaga, S., Galindo, F., Flores-Coello, G., Santos, C. A. d., Jiménez-Ocampo, R., Ku-Vera, J., & Solorio-Sánchez, F. (2023). Greenhouse gas emissions and crossbred cow milk production in a silvopastoral system in tropical Mexico. *Animals*, 13(12), 1941. <https://doi.org/10.3390/ani13121941>
- Sarabia-Salgado, L., Solorio-Sánchez, F., Ramírez-Avilés, L., Rodrigues Alves, B. J., Ku-Vera, J., Aguilar-Pérez, C., Urquiaga, S., & Boddey, R. M. (2020). Increase in milk yield from cows through improvement of forage production using the N₂-fixing legume *Leucaena leucocephala* in a silvopastoral system. *Animals*, 10(4), 734. <https://doi.org/10.3390/ani10040734>
- Saucedo, J., Diaz, C., Milla, M., Durand, L., Linares, J., Vásquez, H., & 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>
- Searchinger, T., Waite, R., Hanson, C., Ranganathan, J., Dumas, P., & Matthews, E. (2019). Creating a Sustainable Food Future. World Resources Institute. <https://research.wri.org/wrr-food>
- Thornton, P. K. (2010). Livestock production: recent trends, future prospects. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 365, 2853–2867. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0134>
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., & Befort, B. L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(50), 20260–20264. <https://doi.org/10.1073/pnas.1116437108>
- Torralba, M., Fagerholm, N., Burgess, P. J., Moreno, G., & Plieninger, T. (2016). Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 230, 150–161. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.06.002>