Revista esprint Investigación

https://rei.esprint.tech
Vol. 5 N° Esp.2, Edición Especial 2026 (20-37) ISSN: 2960-8317
Salud y Ciencias de la Vida

Artículo de revisión

Sistemas silvopastoriles, bienestar y producción en bovinos lecheros y de doble propósito tropicales: revisión sistemática

Silvopastoral systems, welfare and production in tropical dairy and dual-purpose cattle: a systematic review

Brenda Pamela Guananga Gutiérrez*
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Riobamba - Ecuador
brendap.guananga@espoch.edu.ec
https://orcid.org/0009-0009-7553-5302

Hugo Alejandro Castro Albán
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Riobamba - Ecuador
hugo.castro@espoch.edu.ec
https://orcid.org/0000-0002-2952-9667

Freddy Román Guananga Díaz
Profesional Independiente
Orellana - Ecuador
freddygd65@yahoo.es
https://orcid.org/0000-0002-5721-4689

***Correspondencia:**
brendap.guananga@espoch.edu.ec

Cómo citar este artículo:
Guananga, B., Castro, H., & Guananga, F. (2026). Sistemas silvopastoriles, bienestar y producción en bovinos lecheros y de doble propósito tropicales: revisión sistemática. *Esprint Investigación, 5*(Esp.2), 20-37. https://doi.org/10.61347/ei.v5iEsp.2.341

Recibido: *21 de mayo de 2026*
Aceptado: *26 de junio de 2026*
Publicado: *8 de julio de 2026*

Copyright: Derechos de autor 2026 Brenda Pamela Guananga Gutiérrez, Hugo Alejandro Castro Albán, Freddy Román Guananga Díaz.

Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.

Resumen: Los sistemas silvopastoriles constituyen una alternativa de manejo orientada a reducir la carga térmica y favorecer la sostenibilidad de la ganadería lechera tropical. El objetivo de esta revisión fue sintetizar la evidencia científica reciente sobre los efectos de estos sistemas en el confort térmico, bienestar animal, respuestas fisiológicas, comportamiento y desempeño productivo de bovinos lecheros y de doble propósito. Se realizó una revisión sistemática cualitativa bajo el enfoque PRISMA 2020, considerando publicaciones entre 2016 y 2026 en español, inglés y portugués. La búsqueda identificó 142 registros candidatos; tras los procesos de eliminación de duplicados, cribado y evaluación de elegibilidad, se incluyeron 20 estudios primarios en la síntesis cualitativa y 12 referencias de apoyo para contextualización e interpretación de los hallazgos. Los resultados evidenciaron efectos favorables principalmente sobre las condiciones microclimáticas, utilización de sombra, comportamiento y respuestas fisiológicas asociadas a la mitigación del estrés térmico, mientras que los efectos sobre producción de leche y desenlaces sanitarios directos presentaron mayor variabilidad entre estudios. Se concluye que los sistemas silvopastoriles representan una estrategia con potencial para mejorar la adaptación térmica de bovinos tropicales, siempre que su diseño considere la distribución del componente arbóreo, disponibilidad forrajera, acceso efectivo a recursos y evaluación integrada de bienestar, salud y productividad.

Palabras clave: Bienestar animal, bovinos de leche, estrés calórico, producción de leche, sistemas silvopastoriles.

Abstract: *Silvopastoral systems represent a management alternative aimed at reducing heat load and promoting the sustainability of tropical dairy farming. This review aimed to synthesize recent scientific evidence on the effects of silvopastoral systems on thermal comfort, animal welfare, physiological responses, behavior, and productive performance in dairy and dual-purpose cattle. A qualitative systematic review was conducted following the PRISMA 2020 guidelines, considering studies published between 2016 and 2026 in Spanish, English, and Portuguese. The search identified 142 records; after duplicate removal, screening, and eligibility assessment, 20 primary studies were included in the qualitative synthesis, along with 12 supporting references for contextual interpretation. The evidence showed consistent effects on microclimatic regulation, shade utilization, behavioral patterns, and physiological indicators associated with heat stress mitigation. However, productive responses, particularly milk yield and composition, showed greater variability among studies, depending on forage availability, system design, animal genetics, climatic conditions, and management practices. Direct health outcomes were less frequently evaluated, limiting conclusions regarding clinical indicators. Silvopastoral systems may contribute to improving thermal adaptation and welfare of tropical cattle when designed according to appropriate tree distribution, shade availability, forage quality, and effective access to resources. Further research should integrate thermal, health, productive, environmental, and economic indicators to assess their long-term sustainability under diverse tropical production contexts.*

Keywords*: Animal welfare, dairy cattle, heat stress, milk production, silvopastoral systems.*

1. Introducción

La producción bovina tropical enfrenta una tensión creciente entre la búsqueda de eficiencia productiva, el bienestar animal y la adaptación frente al cambio climático. En regiones cálidas y húmedas, la exposición directa a la radiación solar, las altas temperaturas y la elevada humedad relativa limitan la disipación de calor, incrementando el riesgo de estrés calórico y generando efectos fisiológicos, productivos y sanitarios relevantes en vacas lecheras y de doble propósito (Habimana et al., 2023; Hernández-Castellano et al., 2019; Santos et al., 2022).

Los sistemas silvopastoriles integran árboles, arbustos y pasturas con el componente animal dentro de una estrategia de producción sostenible. En bovinos lecheros y de doble propósito, su importancia se relaciona con la generación de microclimas favorables, la provisión de sombra, la reducción de la carga térmica por radiación directa y, en determinados diseños, el fortalecimiento de la disponibilidad forrajera y la provisión de servicios ecosistémicos (De-Sousa et al., 2023; Deniz et al., 2023; Mancera et al., 2018).

La evidencia disponible indica que los beneficios de la sombra no están determinados exclusivamente por la presencia de árboles, sino por la interacción entre diversos factores ambientales y de manejo. La densidad y distribución arbórea, la especie utilizada, el tipo de pastura, la disponibilidad de agua, la carga animal, la época climática y la estructura social del rebaño condicionan el acceso efectivo de los animales a los recursos de mitigación térmica (Deniz et al., 2021b; Deniz et al., 2025; Schmitt et al., 2023).

Durante la última década se han desarrollado estudios de campo, revisiones sistemáticas y evaluaciones observacionales que analizan sistemas de alta biodiversidad, integración cultivo-ganadería-bosque, silvopasturas con eucalipto, sombra natural, sombra artificial y diferentes configuraciones arbóreas en vacas y novillas lecheras bajo condiciones tropicales (Barcelos et al., 2026; Deniz et al., 2019; Deniz et al., 2020; Mello et al., 2017; Pérez-Hernández et al., 2024; Skonieski et al., 2021).

A pesar del incremento de publicaciones sobre estrategias de mitigación térmica basadas en árboles y sombra, la evidencia permanece dispersa debido a la diversidad de diseños silvopastoriles, condiciones ambientales y variables evaluadas. Esta heterogeneidad dificulta establecer conclusiones integrales sobre sus efectos en el desempeño y bienestar de los bovinos tropicales.

Por ello, esta revisión sistemática tuvo como objetivo analizar la evidencia científica publicada entre 2016 y 2026 sobre el efecto de los sistemas silvopastoriles y la sombra arbórea en el confort térmico, bienestar animal, salud y productividad de bovinos lecheros y de doble propósito en condiciones tropicales.

2. Metodología

Se desarrolló una revisión sistemática cualitativa con enfoque PRISMA 2020 (Page et al., 2021). La pregunta de revisión se estructuró mediante el esquema PECO, considerando como población bovinos lecheros, novillas lecheras y vacas de doble propósito; como exposición, sistemas silvopastoriles, silvopasturas, sombra natural, cobertura arbórea o integración cultivo-ganadería-bosque; como comparación, potreros convencionales, exposición a pleno sol, sombra artificial u otros arreglos pastoriles; y como desenlaces, variables relacionadas con microclima, confort térmico, conducta, respuestas fisiológicas, bienestar, salud y producción de leche.

La búsqueda bibliográfica y el proceso de depuración se realizaron el 2 de julio de 2026. Se consideraron publicaciones entre 2016 y 2026 en español, inglés y portugués. La identificación de estudios se efectuó mediante SciELO, PubMed, Crossref/DOI, SpringerLink, ScienceDirect, Cambridge, Frontiers, MDPI, LRRD, Google Scholar y portales regionales. La estrategia inicial permitió identificar 142 registros, los cuales fueron sometidos posteriormente a eliminación de duplicados, cribado, evaluación de elegibilidad e inclusión conforme al flujo PRISMA 2020.

Los criterios de inclusión consideraron artículos científicos y estudios de campo que evaluaran sistemas silvopastoriles, sombra o arreglos integrados con componente arbóreo en bovinos de producción lechera, además de reportar al menos un desenlace térmico, fisiológico, conductual, productivo o sanitario. Los estudios seleccionados debían disponer de DOI, URL editorial o una fuente institucional verificable. Se excluyeron investigaciones exclusivamente forestales, estudios sin participación animal, documentos comerciales, publicaciones sin fuente verificable y revisiones sin datos primarios aplicables a la síntesis.

La extracción de información incluyó autor y año, país, categoría animal, tipo de sistema o sombra evaluada, variables analizadas, resultados principales, diseño metodológico, DOI o URL y decisión de inclusión. La calidad metodológica se evaluó cualitativamente mediante cinco dominios: claridad del sistema evaluado, pertinencia de la población animal, existencia de comparación o referencia ambiental, medición explícita de desenlaces y trazabilidad de la fuente consultada.

Debido a la heterogeneidad entre los diseños metodológicos, las poblaciones estudiadas y las variables reportadas, no se realizó metaanálisis. La evidencia se sintetizó mediante un análisis narrativo organizado por dominios de resultado, considerando los efectos sobre ambiente térmico, comportamiento, respuestas fisiológicas, bienestar y productividad animal.

La tabla 1 resume las estrategias de búsqueda aplicadas en las fuentes bibliográficas consultadas, los filtros utilizados, la fecha de ejecución y los registros obtenidos. Estas fuentes incluyeron literatura relacionada con sistemas silvopastoriles, sombra arbórea, estrés térmico, bienestar y producción bovina, cuyos registros fueron posteriormente analizados mediante el proceso de selección establecido en el protocolo PRISMA 2020.

Tabla 1

Estrategia de búsqueda y verificación bibliográfica

Base/fuente	Estrategia de búsqueda	Filtros aplicados	Fecha de búsqueda	Registros identificados
SciELO / LRRD	*("sistema silvopastoril" OR silvopastoreo OR sombra) AND (vacas OR bovinos lecheros)*	Periodo 2016–2026; idiomas español, portugués e inglés	2 de julio de 2026	34 registros candidatos
PubMed	*("silvopastoral" OR "tree shade") AND ("dairy cows" OR cattle) AND ("heat stress" OR welfare)*	Periodo 2016–2026; artículos con resumen disponible	2 de julio de 2026	28 registros candidatos
Crossref / DOI	*("silvopastoral system" OR silvopasture) AND ("dairy cattle" OR "dual-purpose cattle")*	Periodo 2016–2026; publicaciones con DOI verificable	2 de julio de 2026	46 registros candidatos

SpringerLink / ScienceDirect / Cambridge	*("tree shade" OR silvopasture) AND ("dairy cows") AND (behavior OR physiology OR milk)*	Periodo 2016–2026; artículos científicos publicados en revistas académicas	2 de julio de 2026	21 registros candidatos
Frontiers / MDPI	*("heat stress" OR "thermal comfort") AND ("dairy cattle") AND (shade OR silvopastoral)*	Periodo 2016–2026; artículos con texto completo disponible	2 de julio de 2026	13 registros candidatos

La tabla 2 presenta los criterios de inclusión y exclusión establecidos para la selección de estudios, considerando aspectos relacionados con la población animal, tipo de exposición, variables evaluadas, periodo de publicación e identificación de fuentes verificables. Estos criterios permitieron delimitar la evidencia científica pertinente sobre el efecto de sistemas silvopastoriles y estrategias de sombra en bovinos bajo condiciones tropicales, garantizando la consistencia y reproducibilidad del proceso de selección.

Tabla 2

Criterios de inclusión y exclusión

Criterio	**Inclusión**	**Exclusión**
Población	Bovinos lecheros, novillas lecheras o bovinos de doble propósito	Especies no bovinas, estudios sin participación animal o investigaciones sin evaluación directa en bovinos
Exposición	Sistemas silvopastoriles, silvopasturas, sombra arbórea, cobertura arbórea o sistemas integrados cultivo-ganadería-bosque (ICLF/ILPF)	Estudios exclusivamente forestales, sin componente animal o sin evaluación del efecto del componente arbóreo
Desenlaces	Variables relacionadas con microclima, índice de temperatura y humedad (THI/ITH), temperatura ambiental o corporal, frecuencia respiratoria, comportamiento, producción de leche, bienestar o salud animal	Estudios sin evaluación de variables térmicas, fisiológicas, conductuales, productivas o sanitarias
Periodo e idioma	Publicaciones entre 2016 y 2026 en español, inglés o portugués	Publicaciones fuera del periodo establecido, idiomas diferentes o información sin datos verificables
Fuente de información	Artículos científicos, publicaciones con DOI, URL editorial, bases bibliográficas reconocidas o repositorios institucionales verificables	Blogs, documentos comerciales, fichas técnicas, literatura sin respaldo académico o registros no verificables

3. Resultados

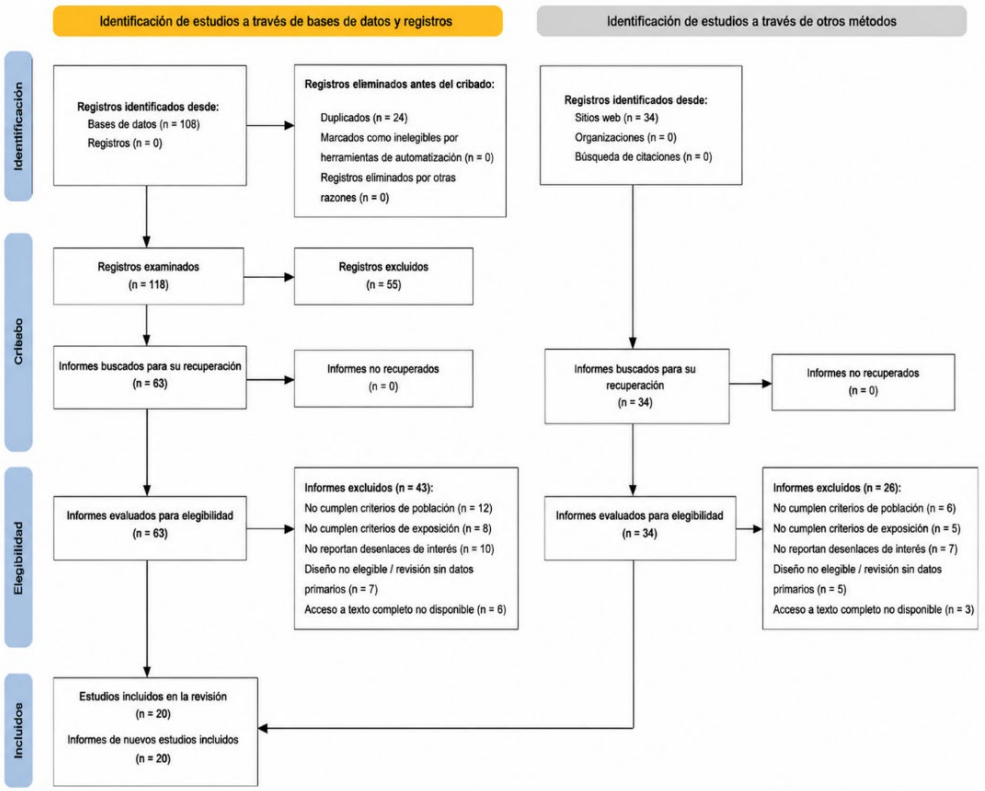
La figura 1 presenta el flujo de selección de estudios conforme a PRISMA 2020. La búsqueda permitió identificar 142 registros, de los cuales 108 procedieron de bases de datos bibliográficas y 34 de otras fuentes complementarias. Después de eliminar 24 duplicados, 118 registros fueron sometidos al proceso de cribado, excluyéndose 55 por no cumplir los criterios iniciales de selección. Posteriormente, 63 estudios fueron evaluados mediante lectura completa, de los cuales 43 fueron descartados por no cumplir los criterios de elegibilidad. Finalmente, 20 estudios primarios fueron incluidos en la síntesis cualitativa.

La tabla 3 sintetiza las características principales de los estudios incluidos, considerando investigaciones desarrolladas en pasturas sombreadas, sistemas silvopastoriles de alta biodiversidad, sistemas integrados cultivo-ganadería-bosque y estrategias de sombra natural o artificial en ambientes tropicales y condiciones climáticas comparables (Hernández-Rodríguez, 2019; López-Vigoa et al., 2022; Mello et al., 2017; Murga-Orrillo et al., 2025; Pérez-Hernández et al., 2024).

Los estudios seleccionados abordaron diferentes respuestas asociadas a la mitigación del estrés térmico, comportamiento animal, variables fisiológicas, bienestar y desempeño productivo, permitiendo identificar patrones sobre la influencia del componente arbóreo en sistemas de producción bovina bajo condiciones tropicales.

Figura 1

Diagrama PRISMA 2020 para la selección de estudios primarios



Nota. Elaboración propia con base en PRISMA 2020 (Page et al., 2021). Se conservaron 12 referencias de apoyo como antecedentes o marcos conceptuales, sin incorporarlas al conteo final del flujo PRISMA.

Tabla 3

Caracterización de estudios primarios incluidos

Autor/año	País	Categoría/diseño	Sistema o exposición evaluada	Variables analizadas	Principales resultados
Mello et al., 2017	Brasil	Novillas lecheras cruzadas; estudio experimental de campo	Pasturas tropicales con sombra proporcionada por eucalipto	Actividad de pastoreo, uso de sombra y comportamiento diario	La disponibilidad de sombra modificó la distribución de actividades diarias y favoreció el pastoreo durante los periodos de mayor temperatura ambiental.

Carnevalli et al., 2020	Brasil	Novillas lecheras; experimento de campo	Sistema integrado tropical con árboles de eucalipto	Rumiar, descanso, ocio y comportamiento	La presencia de sombra modificó la distribución temporal de actividades, especialmente los periodos de rumia y descanso.
Deniz et al., 2019	Brasil	Vacas lecheras; estudio de campo	Sistema silvopastoril de alta biodiversidad	Microclima, temperatura ambiental e indicadores de confort térmico	El sistema con cobertura arbórea mejoró las condiciones microclimáticas respecto a potreros sin árboles.
Deniz et al., 2020	Brasil	Vacas lecheras; estudio observacional de campo	Sistema silvopastoril de alta biodiversidad	Microclima, preferencia espacial, pastoreo, rumia y descanso	Las vacas mostraron mayor preferencia por áreas con condiciones térmicas favorables para realizar actividades de mantenimiento.
Deniz et al., 2021a	Brasil	Vacas lecheras; estudio descriptivo	Sombra natural en sistemas pastoriles	Uso de sombra, radiación solar y variables ambientales	Las zonas sombreadas presentaron mejores condiciones ambientales y fueron utilizadas con mayor frecuencia por los animales.
Deniz et al., 2021b	Brasil	Vacas lecheras; estudio observacional de campo	Sistema silvopastoril con pastoreo rotacional intensivo	Jerarquía social, acceso a sombra y comportamiento	La estructura jerárquica del rebaño condicionó el acceso diferencial al recurso de sombra.
de Sousa et al., 2021	Brasil	Vacas lecheras; estudio comparativo de campo	Tres sistemas pastoriles con diferentes condiciones de cobertura	Microclima, comportamiento y confort térmico	Las variaciones microclimáticas entre sistemas influyeron en la conducta de los animales durante el pastoreo.
Reis et al., 2021	Brasil	Vacas Gyr y Girolando; experimento de campo	Sistema integrado cultivo-ganadería-bosque	Temperatura superficial, temperatura rectal, conducta, rumia y descanso	La sombra redujo indicadores de carga térmica y favoreció comportamientos asociados al bienestar animal.
Martins et al., 2021	Brasil	Vacas Gyr lecheras; experimento de campo	Sistema integrado cultivo-ganadería-bosque con sombra natural	Temperatura corporal, variables reproductivas y producción lechera	La sombra redujo la carga térmica y mejoró algunos indicadores reproductivos, mientras que la producción de leche no mostró cambios consistentes.
Skonieski et al., 2021	Brasil	Vacas Jersey lactantes; experimento de campo	Silvopastura con eucalipto comparada con pastura convencional	Frecuencia respiratoria, temperatura rectal, conducta ingestiva y consumo de agua	La silvopastura redujo respuestas asociadas al estrés térmico y modificó favorablemente algunos patrones conductuales.
Cardoso et al., 2021	Brasil	Novillas lecheras; experimento conductual	Sombra natural y sombra artificial	Motivación para acceder a sombra y comportamiento social	Las novillas mostraron motivación por utilizar áreas sombreadas, especialmente bajo condiciones de elevada temperatura ambiental.

Hernández-Rodríguez, 2019	Cuba	Vacas Siboney de Cuba; estudio comparativo de campo	Sistema silvopastoril frente a pastoreo convencional	Producción y composición de leche	El sistema silvopastoril presentó mejores indicadores productivos y composicionales, excepto en contenido de grasa láctea.
López-Vigoa et al., 2022	Cuba	Vacas Mambí de Cuba; estudio productivo de campo	Sistema silvopastoril con *Megathyrsus maximus* y *Leucaena leucocephala*	Producción lechera y desempeño productivo	El sistema permitió mantener un desempeño productivo adecuado bajo condiciones comerciales.
da Silva Morenz et al., 2024	Brasil	Vacas Holstein × Gyr; experimento de campo	Sistema integrado pecuario-bosque con eucalipto	Conducta, radiación solar, THI y uso de sombra	La sombra moderada e intensa redujo la carga térmica ambiental y modificó positivamente la conducta animal.
Pérez-Hernández et al., 2024	México	Vacas de doble propósito Holstein × Cebú; experimento de campo	Pasturas con diferente cobertura arbórea	Comportamiento y temperatura del pelaje	La cobertura arbórea modificó la conducta diaria y redujo la temperatura superficial del pelaje.
Murga-Orrillo et al., 2025	Perú	Vacas cruzadas lecheras y terneros; estudio de campo multicondición	Sistemas silvopastoriles frente a monocultivos con gradiente altitudinal	THI, producción de leche, hematología y ganancia de peso	El estrés térmico fue mayor en monocultivos, mientras que el silvopastoreo y la altitud contribuyeron a reducirlo.
Narváez-Herrera et al., 2025	Colombia	Vacas Gyr × Holstein; estudio de caso con diseño cruzado	Sistema silvopastoril con especies forrajeras nativas frente a sistema tradicional	Consumo de materia seca, producción y composición de leche, eficiencia y economía	El sistema silvopastoril incrementó el consumo, la producción, la eficiencia alimenticia y la rentabilidad del sistema.
McManus et al., 2026	Brasil	Vacas Gyr y Girolando lactantes; experimento de campo	Sistema silvopastoril con *Eucalyptus urograndis* frente a exposición a pleno sol	THI, temperatura rectal, temperatura superficial, frecuencia respiratoria, jadeo y leche	La sombra redujo la temperatura corporal, frecuencia respiratoria y jadeo, con mayores beneficios bajo condiciones de alto estrés térmico.
Barcelos et al., 2026	Brasil	Vacas Holstein; experimento de campo	Comparación entre sombra natural y sombra artificial	Microclima, radiación, respuestas fisiológicas y conductuales	La sombra artificial redujo en mayor medida la carga radiante, aunque la respuesta animal dependió de las características individuales y ambientales.
Deniz et al., 2025	Brasil	Vacas Jersey lactantes; estudio observacional	Sistema pastoril con sombra natural y disponibilidad de agua	Uso de sombra, acceso al agua, jerarquía social y microclima	La dominancia social influyó en el uso del recurso de sombra, mientras que otros grupos recurrieron con mayor frecuencia al agua como estrategia de termorregulación.

Microclima y confort térmico

La evidencia más consistente se concentró en la modificación del ambiente térmico inmediato generado por la presencia del componente arbóreo. Los sistemas silvopastoriles de alta biodiversidad y los arreglos integrados disminuyeron la exposición directa a la radiación solar y favorecieron condiciones microclimáticas más estables en comparación con potreros sin árboles o con menor cobertura vegetal.

Los estudios desarrollados en Brasil evidenciaron que la disponibilidad de sombra modificó la distribución espacial de los animales, incrementó el uso de áreas con menor carga térmica y redujo indicadores ambientales asociados al estrés calórico (Deniz et al., 2019; Deniz et al., 2020; da Silva Morenz et al., 2024; de Sousa et al., 2021).

El índice temperatura-humedad (THI/ITH) constituyó una herramienta frecuente para estimar el riesgo de estrés térmico; sin embargo, diversos estudios señalaron que su interpretación puede complementarse con variables relacionadas con la carga radiante y la respuesta animal. En sistemas de pastoreo tropical, la evaluación del confort térmico requiere integrar indicadores como temperatura superficial, frecuencia respiratoria, acceso a sombra y patrones conductuales (Barcelos et al., 2026; Deniz et al., 2023; Santos et al., 2022).

Respuestas fisiológicas y conductuales

Las respuestas conductuales mostraron patrones consistentes entre los diferentes sistemas evaluados, destacándose un mayor uso de áreas sombreadas durante los periodos de mayor temperatura, la redistribución de actividades como rumia y descanso, y la preferencia por zonas con mejores condiciones microclimáticas. En algunos sistemas, la disponibilidad de sombra redujo la necesidad de utilizar fuentes de agua como mecanismo complementario de disipación térmica (Mello et al., 2017; Carnevalli et al., 2020; Cardoso et al., 2021).

En novillas y vacas lecheras, los estudios evidenciaron que la sombra modificó la distribución temporal de actividades diarias, favoreciendo comportamientos asociados al bienestar animal, como el descanso, la rumia y el mantenimiento de la actividad de pastoreo durante condiciones ambientales restrictivas (Mello et al., 2017; Carnevalli et al., 2020).

En relación con las respuestas fisiológicas, los estudios reportaron reducciones en la temperatura superficial, frecuencia respiratoria, temperatura rectal y signos asociados al jadeo en animales con acceso a sombra o bajo sistemas silvopastoriles, principalmente durante escenarios de elevada carga térmica ambiental. Estos efectos fueron descritos en diferentes grupos genéticos, incluyendo bovinos Gyr, Girolando, Jersey, Holstein y cruces de doble propósito (Reis et al., 2021; Skonieski et al., 2021; McManus et al., 2026; Pérez-Hernández et al., 2024).

Bienestar, salud y acceso a recursos

El bienestar animal fue analizado principalmente mediante indicadores asociados al confort térmico, comportamiento y acceso a recursos ambientales. La jerarquía social del rebaño influyó en la utilización de áreas con sombra, lo que evidencia que la incorporación de árboles o zonas protegidas no garantiza necesariamente un acceso equitativo para todos los animales.

Los estudios sobre dominancia indicaron que los individuos subordinados podrían presentar patrones diferenciados de uso de los recursos de mitigación térmica, recurriendo con mayor frecuencia

al agua o permaneciendo en áreas menos favorables cuando la disponibilidad de sombra fue limitada (Deniz et al., 2021b; Deniz et al., 2025).

Los desenlaces sanitarios directos fueron menos reportados en comparación con las variables térmicas, fisiológicas y conductuales. La evidencia disponible sobre mastitis, parasitismo, condición corporal y enfermedades clínicas fue limitada o indirecta, lo que restringió la formulación de conclusiones generales sobre estos indicadores.

En contraste, algunos estudios identificaron efectos asociados a la reproducción, como cambios en la cantidad y calidad de ovocitos o embriones, lo que sugiere que la reducción de la carga térmica podría generar beneficios fisiológicos que trascienden las respuestas conductuales inmediatas (Martins et al., 2021).

Producción y composición de leche

La producción de leche mostró variaciones entre los estudios incluidos, lo que evidencia que la respuesta productiva ante la incorporación del componente arbóreo depende del contexto del sistema evaluado. En investigaciones desarrolladas en Cuba y Colombia se reportaron incrementos en producción, composición de leche, eficiencia alimenticia o indicadores económicos bajo arreglos con cobertura arbórea (Hernández-Rodríguez, 2019; López-Vigoa et al., 2022; Narváez-Herrera et al., 2025).

En contraste, otros estudios enfocados en respuestas fisiológicas y ambientales no identificaron cambios significativos en el rendimiento lechero, pese a registrar mejoras en el ambiente térmico y disminución de indicadores asociados al estrés calórico (Martins et al., 2021). Estos hallazgos indican que el efecto sobre la productividad está condicionado por la interacción entre la calidad del forraje, diseño del arreglo arbóreo, clima, genética animal y estrategias complementarias de manejo y suplementación.

La tabla 4 resume los principales sistemas silvopastoriles identificados en la evidencia analizada, considerando su ubicación geográfica, categoría animal, efectos sobre el confort térmico y respuestas relacionadas con bienestar y productividad. Esta comparación permite reconocer patrones sobre la contribución del componente arbóreo en la mitigación del estrés térmico y la variabilidad de los resultados productivos según las características del sistema.

Tabla 4

Síntesis cualitativa de resultados por tipo de sistema

Sistema evaluado	País	Categoría animal	Efectos sobre confort térmico	Efectos sobre bienestar y producción	Estudios
Sistemas de alta biodiversidad y núcleos arbóreos	Brasil	Vacas lecheras	Mejoraron las condiciones microclimáticas y favorecieron la selección de áreas con menor carga térmica	Modificaron patrones conductuales asociados al pastoreo, descanso y rumia; los efectos productivos fueron variables o no evaluados directamente	Deniz et al., 2019; Deniz et al., 2020
Sistemas integrados cultivo-ganadería-bosque	Brasil	Vacas Gyr, Girolando y cruces Holstein × Gyr	Redujeron la exposición a radiación solar, temperatura superficial y valores de THI	Favorecieron respuestas conductuales relacionadas con bienestar; se observaron efectos reproductivos y productivos variables según el estudio	Reis et al., 2021; Martins et al., 2021; da Silva Morenz et al., 2024

Silvopastura con eucalipto	Brasil	Vacas Jersey lactantes	Disminuyó indicadores asociados al estrés térmico respecto a sistemas convencionales sin sombra	Redujo frecuencia respiratoria y temperatura rectal, además de modificar favorablemente la conducta ingestiva	Skonieski et al., 2021
Cobertura arbórea en ambientes tropicales húmedos	México	Bovinos de doble propósito Holstein × Cebú	Redujo la temperatura del pelaje y modificó las condiciones térmicas del ambiente de pastoreo	Favoreció respuestas conductuales asociadas al bienestar térmico; la producción lechera no constituyó el desenlace principal evaluado	Pérez-Hernández et al., 2024
Sistemas silvopastoriles amazónicos y andino-amazónicos	Colombia y Perú	Bovinos lecheros cruzados	Contribuyeron a reducir la carga térmica y mejorar la adaptación de los animales al ambiente	Se reportaron mejoras en producción, composición de leche, eficiencia productiva o desempeño económico en estudios específicos	Murga-Orrillo et al., 2025; Narváez-Herrera et al., 2025

La tabla 5 presenta los estudios de apoyo utilizados para contextualizar e interpretar los hallazgos de la revisión, incluyendo investigaciones regionales, revisiones y análisis conceptuales relacionados con sistemas silvopastoriles, estrés térmico, bienestar animal y sostenibilidad productiva. Estas referencias complementan la evidencia primaria al aportar fundamentos teóricos y elementos comparativos para comprender los efectos del componente arbóreo en la producción bovina tropical.

Tabla 5

Referencias de apoyo conservadas como antecedentes

Autor/año	País/región	Tipo de estudio	Título	Función en el manuscrito
Mancera et al., 2018	México / sistemas tropicales	Revisión conceptual	*Integrating links between tree coverage and cattle welfare in silvopastoral systems evaluation*	Fundamentación de la relación entre cobertura arbórea, bienestar animal y evaluación de sistemas silvopastoriles.
Sánchez-Santana et al., 2018	Cuba	Revisión	*The potential of silvopastoral systems for cattle production in Cuba*	Contextualización del potencial productivo y ambiental de los sistemas silvopastoriles en regiones tropicales.
Hernández-Castellano et al., 2019	Regiones tropicales globales	Revisión y análisis conceptual	*Dairy science and health in the tropics: challenges and opportunities for the next decades*	Descripción de desafíos productivos, sanitarios y ambientales de la ganadería lechera tropical.
Hernández et al., 2022	Regiones tropicales globales	Revisión	*Cattle welfare aspects of production systems in the tropics*	Interpretación de aspectos relacionados con bienestar bovino bajo diferentes sistemas productivos tropicales.
Santos et al., 2022	Regiones intertropicales	Revisión	*Heat tolerance, thermal equilibrium and environmental management strategies for dairy cows living in intertropical regions*	Fundamentación sobre estrés térmico, mecanismos de adaptación y estrategias de manejo ambiental.
Habimana et al., 2023	Regiones tropicales y subtropicales	Revisión	*Heat stress effects on milk yield traits and metabolites and mitigation strategies for dairy cattle breeds reared in tropical and sub-tropical countries*	Contextualización del impacto del estrés térmico sobre producción y estrategias de mitigación.

Assani et al., 2023	Benín (África occidental)	Estudio comparativo de finca	*The effect of the silvopastoral system on milk production and reproductive performance of dairy cows and its contribution to adaptation to a changing climate in the drylands of Benin (West-Africa)*	Aporte de evidencia regional sobre producción, reproducción y adaptación climática en sistemas silvopastoriles.
de Sousa et al., 2021	Brasil	Estudio comparativo de campo	*Influence of microclimate on dairy cows' behavior in three pasture systems during the winter in south Brazil*	Apoyo para interpretar la influencia del microclima sobre comportamiento y confort térmico.
de-Sousa et al., 2023	Principalmente Brasil / regiones tropicales	Revisión sistemática	*Effects of tree arrangements of silvopasture system on behaviour and performance of cattle: A systematic review*	Síntesis de evidencia sobre configuraciones arbóreas, comportamiento y desempeño productivo bovino.
Schmitt Filho et al., 2023	Brasil	Estudio experimental de microclima	*Applied nucleation under high biodiversity silvopastoral system as an adaptive strategy against microclimate extremes in pasture areas*	Análisis del papel de arreglos arbóreos biodiversos en la regulación microclimática.
Gonzalez Quintero et al., 2024	Colombia	Estudio de caso	*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*	Interpretación de efectos productivos, ambientales y económicos de sistemas silvopastoriles.
Mavisoy et al., 2025	Colombia (región Andino-Amazónica)	Estudio de sistemas productivos	*Carbon balance in dairy cattle silvopastoral production systems in Colombia's Andean-Amazon region*	Contextualización de sostenibilidad ambiental y balance de carbono en sistemas silvopastoriles.

La figura 2 representa el modelo conceptual de los mecanismos mediante los cuales los sistemas silvopastoriles influyen en la producción bovina. El esquema muestra una relación progresiva entre la incorporación de árboles, cobertura vegetal y sombra, y sus efectos sobre diferentes niveles de respuesta del sistema. La presencia del componente arbóreo modifica el microclima mediante la reducción de la radiación solar, cambios en el índice de temperatura-humedad (ITH/THI) y regulación de la temperatura ambiental.

Estas condiciones influyen sobre la respuesta animal, reflejada en variables como temperatura corporal, frecuencia respiratoria y comportamiento. A su vez, las mejoras en confort térmico, acceso a recursos y condiciones sanitarias favorecen el bienestar y la salud del ganado, generando efectos potenciales sobre la producción de leche, la eficiencia productiva y la sostenibilidad del sistema.

Figura 2

Esquema conceptual de la relación entre sistema silvopastoril, confort térmico, bienestar y producción



Nota. La flecha resume el mecanismo dominante observado: el efecto productivo depende del diseño, la raza y el manejo.

4. Discusión

La evidencia analizada indica que el efecto más consistente de los sistemas silvopastoriles se relacionó con la regulación del ambiente térmico inmediato, mediante la reducción de la radiación solar, la generación de microclimas favorables, el incremento del uso de sombra y la disminución de la exposición a condiciones de calor extremo (Deniz et al., 2019; Deniz et al., 2020; Mello et al., 2017; Pérez-Hernández et al., 2024; Schmitt Filho et al., 2023). Este mecanismo constituye la principal vía mediante la cual el componente arbóreo puede modificar la interacción entre ambiente y animal, como se representa en la figura 2.

Las respuestas fisiológicas mostraron mayor consistencia que los cambios productivos directos. Diversos estudios reportaron reducciones en temperatura superficial, frecuencia respiratoria, temperatura rectal y jadeo en animales con acceso a sombra o bajo sistemas silvopastoriles, principalmente durante periodos con elevada radiación o valores desfavorables de THI (Barcelos et al., 2026; McManus et al., 2026; Reis et al., 2021; Santos et al., 2022; Skonieski et al., 2021). Estos resultados sugieren que la mitigación térmica puede generar beneficios fisiológicos incluso cuando no se traduce necesariamente en incrementos proporcionales de producción de leche.

Desde la perspectiva conductual, la sombra representó un recurso ambiental con implicaciones motivacionales y sociales dentro del rebaño. Cardoso et al. (2021) evidenciaron la motivación de las novillas para acceder a zonas protegidas, mientras que Deniz et al. (2021a) relacionaron esta preferencia con factores ambientales. Además, Deniz et al. (2021b, 2025) demostraron que la jerarquía social condicionó el acceso efectivo a sombra y agua. Por tanto, la presencia de árboles debe analizarse considerando su distribución espacial y disponibilidad real para todos los animales, especialmente individuos subordinados.

La relación entre bienestar y salud debe interpretarse con cautela debido a la limitada disponibilidad de indicadores clínicos directos. La mayoría de los estudios se concentró en variables ambientales, fisiológicas y conductuales, por lo que la evidencia actual no permite establecer que todos los sistemas silvopastoriles reduzcan directamente problemas sanitarios específicos como mastitis, parasitismo o enfermedades clínicas. No obstante, la literatura sobre estrés térmico en ambientes tropicales respalda la conexión entre carga térmica, metabolismo, comportamiento y bienestar animal (Habimana et al., 2023; Hernández et al., 2022; Hernández-Castellano et al., 2019; Santos et al., 2022).

Los efectos sobre producción y composición de leche presentaron mayor variabilidad entre investigaciones. En sistemas evaluados en Cuba y Colombia se reportaron mejoras o mantenimiento favorable de indicadores productivos, composicionales, de eficiencia o rentabilidad, mientras que otros estudios identificaron principalmente beneficios ambientales y fisiológicos sin incrementos directos en producción lechera (Gonzalez et al., 2024; Hernández-Rodríguez, 2019; López-Vigoa et al., 2022; Narváez-Herrera et al., 2025; Sánchez-Santana et al., 2018). Esta variabilidad evidencia que la respuesta productiva depende de factores complementarios como disponibilidad de forraje, genética, etapa de lactancia, suplementación y carga animal.

El diseño del sistema emergió como un factor determinante para maximizar los beneficios del componente arbóreo. Arreglos con distribución adecuada de árboles, núcleos de alta biodiversidad o integración cultivo-ganadería-bosque favorecieron condiciones térmicas y conductuales más favorables; sin embargo, coberturas excesivas o una ubicación inadecuada pueden limitar la disponibilidad de forraje o concentrar la presencia animal. La evidencia disponible indica que la densidad, distribución, especie arbórea y manejo del potrero forman parte integral de la intervención evaluada (Carnevalli et al., 2020; da Silva Morenz et al., 2024; De-Sousa et al., 2023; Deniz et al., 2023; Martins et al., 2021; Schmitt Filho et al., 2023).

Para el contexto latinoamericano, la transferencia de resultados requiere considerar las particularidades ambientales y productivas de cada región. Brasil concentra la mayor cantidad de estudios fisiológicos y conductuales, mientras que México, Cuba, Colombia y Perú aportan evidencia relacionada con sistemas de doble propósito, producción lechera, sostenibilidad y variabilidad ambiental (Gonzalez et al., 2024; Murga-Orrillo et al., 2025; Narváez-Herrera et al., 2025; Pérez-Hernández et al., 2024; Sánchez-Santana et al., 2018). En regiones como Orellana, la aplicación de estos hallazgos debe considerar variables locales como humedad ambiental, composición racial, especies arbóreas disponibles, presión parasitaria y nivel tecnológico de las unidades productivas.

Desde el punto de vista metodológico, la ampliación del universo de búsqueda mediante el enfoque PRISMA permitió transparentar la dispersión y heterogeneidad de la evidencia disponible. Varias referencias correspondieron a antecedentes, revisiones o estudios de sostenibilidad y no a evaluaciones simultáneas de confort térmico, salud y producción. Por ello, la separación entre estudios primarios y literatura de apoyo permitió evitar interpretaciones causales excesivas y diferenciar evidencia directa de información contextual.

Las futuras investigaciones deberían priorizar diseños longitudinales, indicadores sanitarios comparables, evaluación del acceso social a recursos térmicos y análisis multicriterio que integren producción de leche, bienestar animal, emisiones ambientales y viabilidad económica (Assani et al., 2023; De-Sousa et al., 2023; Deniz et al., 2023; Mavisoy et al., 2025).

Limitaciones

La revisión se planteó bajo un enfoque sistemático cualitativo, por lo que no se realizó un metaanálisis debido a la heterogeneidad metodológica identificada en la evidencia disponible. Los estudios analizados presentaron diferencias en diseño experimental, categoría animal, estación climática, composición racial, estructura del sistema productivo y variables evaluadas, lo que limitó la posibilidad de obtener estimaciones combinadas del efecto de los sistemas silvopastoriles.

En el proceso de selección mediante PRISMA 2020, únicamente se contabilizaron los estudios primarios incorporados en la síntesis cualitativa, mientras que las referencias de apoyo utilizadas para contextualizar e interpretar los hallazgos permanecieron fuera del flujo de inclusión. Esta diferenciación permitió mantener la trazabilidad metodológica y evitar la sobreestimación de la evidencia analizada.

Además, algunos estudios relacionados con producción correspondieron a estudios de caso, evaluaciones productivas puntuales o series de campo, por lo que sus resultados deben interpretarse con precaución al extrapolar conclusiones hacia la diversidad de sistemas ganaderos del trópico latinoamericano. La variabilidad ambiental, genética y de manejo representa un factor determinante para la transferencia de estos hallazgos a otros contextos productivos.

5. Conclusiones

Los sistemas silvopastoriles y la disponibilidad de sombra arbórea representaron estrategias relevantes para mejorar el confort térmico de bovinos lecheros y de doble propósito bajo condiciones tropicales, principalmente mediante la regulación del microclima y la reducción de la carga térmica ambiental.

La evidencia analizada mostró mayor consistencia en variables relacionadas con ambiente térmico, comportamiento y respuestas fisiológicas, mientras que los efectos sobre la producción de leche presentaron mayor variabilidad y estuvieron condicionados por factores como el diseño del sistema, disponibilidad de forraje, genética animal y prácticas de manejo.

La incorporación del componente arbóreo requiere una planificación basada en la distribución espacial, densidad de cobertura, acceso efectivo de los animales y compatibilidad con la producción forrajera, debido a que la presencia de árboles por sí sola no garantiza beneficios uniformes dentro del sistema productivo.

Los desenlaces sanitarios directos constituyeron una de las principales brechas identificadas en la literatura, especialmente respecto a mastitis, parasitismo y enfermedades clínicas, lo que evidencia la necesidad de ampliar la evaluación de estos indicadores en sistemas silvopastoriles.

Para las regiones amazónicas ecuatorianas, los hallazgos respaldan el desarrollo de investigaciones orientadas a diseñar arreglos silvopastoriles adaptados a las condiciones locales, integrando evaluaciones simultáneas de confort térmico, bienestar, salud animal, productividad y sostenibilidad del sistema.

Referencias

Assani, A., Offoumon, O., Sanni, S., Houaga, I., Koara, A., Azalou, M., Adambi, F., Idrissou, Y., Houinato, M., & Alkoiret, I. (2023). The effect of the silvopastoral system on milk production and reproductive performance of dairy cows and its contribution to adaptation to a changing climate in the drylands of Benin (West-Africa). *Frontiers in Sustainable Food Systems, 7*, 1236581. https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1236581

Barcelos, J., Lopes, K., Sordi, A., Trevisan, Y., & Nascimento, S. (2026). Microclimatic characterization of natural and artificial shading and its influence on the physiological and behavioural responses of Holstein cows. *Journal of Dairy Research, 93*(1), 85–95. https://doi.org/10.1017/S0022029925101878

Cardoso, C., von Keyserlingk, M., Pinheiro, L., & Hötzel, M. (2021). Dairy heifer motivation for access to a shaded area. *Animals, 11*(9), 2507. https://doi.org/10.3390/ani11092507

Carnevalli, R., de Mello, A., Coletti, A., Garcia, L., & Xavier, D. (2020). Shade controls the ruminating and idleness times of dairy heifers in tropical integrated systems. *Agroforestry Systems, 94*(3), 779–790. https://doi.org/10.1007/s10457-019-00448-7

da Silva, A., de Carvalho, C., Carnevalli, R., Morenz, D., de Barros, I., Lulu, J., Moustacas, V., & Xavier, D. (2024). Dairy cows on integrated livestock-forestry system in the tropics. *Agroforestry Systems, 98*(5), 1079–1090. https://doi.org/10.1007/s10457-023-00883-7

de Sousa, K., Deniz, M., Vale, M., Dittrich, J., & Hötzel, M. (2021). Influence of microclimate on dairy cows' behavior in three pasture systems during the winter in south Brazil. *Journal of Thermal Biology, 97*, 102873. https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2021.102873

Deniz, M., de Sousa, K., Gomes, I., Vale, M., & Dittrich, J. (2021a). Classification of environmental factors potentially motivating for dairy cows to access shade. *Journal of Dairy Research, 88*(3), 274–277. https://doi.org/10.1017/S0022029921000509

Deniz, M., de Sousa, K., Moro, M., Vale, M., Dittrich, J., Machado Filho, L., & Hötzel, M. (2021b). Social hierarchy influences dairy cows' use of shade in a silvopastoral system under intensive rotational grazing. *Applied Animal Behaviour Science, 244*, 105467. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2021.105467

Deniz, M., De-Sousa, K., Vieira, F., Vale, M., Dittrich, J., Daros, R., & Hötzel, M. (2023). A systematic review of the effects of silvopastoral system on thermal environment and dairy cows' behavioral and physiological responses. *International Journal of Biometeorology*., 67 https://doi.org/10.1007/s00484-023-02431-5

Deniz, M., Schmitt, A., Farley, J., de Quadros, S., & Hötzel, M. (2019). High biodiversity silvopastoral system as an alternative to improve the thermal environment in the dairy farms. *International Journal of Biometeorology, 63*(1), 83–92. https://doi.org/10.1007/s00484-018-1638-8

Deniz, M., Schmitt, A., Hötzel, M., de Sousa, K., Pinheiro, L., & Sinisgalli, P. (2020). Microclimate and pasture area preferences by dairy cows under high biodiversity silvopastoral system in southern Brazil. *International Journal of Biometeorology, 64*(11), 1877–1887. https://doi.org/10.1007/s00484-020-01975-0

Deniz, M., Sena, A., De-Sousa, K., Vieira, F., de Souza, E., Hötzel, M., & Dittrich, J. (2025). Herd dominance influences dairy cows' use of heat abatement resources in a silvopastoral system. *Animals, 15*(12), 1791. https://doi.org/10.3390/ani15121791

De-Sousa, K., Deniz, M., Dittrich, J., & Hötzel, M. (2023). Effects of tree arrangements of silvopasture system on behaviour and performance of cattle: A systematic review. *Annals of Animal Science, 23*(3), 629–639. https://doi.org/10.2478/aoas-2023-0002

Gonzalez, R., García, E., 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*(8), 3001–3018. https://doi.org/10.1007/s10457-024-01070-y

Habimana, V., Nguluma, A., Nziku, Z., Ekine-Dzivenu, C., Morota, G., Mrode, R., & Chenyambuga, S. W. (2023). Heat stress effects on milk yield traits and metabolites and mitigation strategies for dairy cattle breeds reared in tropical and sub-tropical countries. *Frontiers in Veterinary Science, 10*, 1121499. https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1121499

Hernandez, A., Galina, C., Geffroy, M., Jung, J., Westin, R., & Berg, C. (2022). Cattle welfare aspects of production systems in the tropics. *Animal Production Science, 62*(13), 1203–1218. https://doi.org/10.1071/AN21230

Hernández-Castellano, L., Nally, J., Lindahl, J., Wanapat, M., Alhidary, I., Fangueiro, D., Grace, D., Ratto, M., Bambou, J., & de Almeida, A. (2019). Dairy science and health in the tropics: Challenges and opportunities for the next decades. *Tropical Animal Health and Production, 51*(5), 1009–1017. https://doi.org/10.1007/s11250-019-01866-6

Hernández-Rodríguez, R. (2019). Effect of the silvopastoral system on milk production and composition in Siboney-Cuba cows. *Livestock Research for Rural Development, 31*(12). https://www.lrrd.org/lrrd31/12/robier31190.html

López-Vigoa, O., García-López, R., Lamela-López, L., Fraga-Benítez, L., Hernández-Rodríguez, A., García-Orta, Y., Sánchez-Santana, T., & Iglesias-Gómez, (2022). Productive performance of dairy Mambí de Cuba cows in a silvopastoral system. *Livestock Research for Rural Development, 34*(11). https://www.lrrd.cipav.org.co/lrrd34/11/3498olop.html

Mancera, K., Zarza, H., de Buen, L., García, A., Palacios, F., & Galindo, F. (2018). Integrating links between tree coverage and cattle welfare in silvopastoral systems evaluation. *Agronomy for Sustainable Development, 38*(2), 19. https://doi.org/10.1007/s13593-018-0497-3

Martins, C., Fonseca-Neto, A., Bessler, H., Dode, M., Leme, L., Franco, M., McManus, C., Malaquias, J., & Ferreira, I. (2021). Natural shade from integrated crop-livestock-forestry mitigates environmental heat and increases the quantity and quality of oocytes and embryos produced in vitro by Gyr dairy cows. *Livestock Science, 244*, 104341. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104341

Mavisoy, H., Vallejos, A., Rincón, E., Narváez-Herrera, J., Rosas, L., del Socorro Guerra, A., Salcedo, A., Alban, D., Chingal, C., Fangueiro, D., & de Almeida, A. (2025). Carbon balance in dairy cattle silvopastoral production systems in Colombia's Andean-Amazon region. *Agroforestry Systems, 99*(6), 136. https://doi.org/10.1007/s10457-025-01233-5

McManus, C., Pimentel, F., Junqueira, V., Balbino, L., Cordeiro, L., Bernal, F., Peripolli, V., & Ferreira, I. C. (2026). Shade matters: Heat stress alleviation in Gyr and Girolando cows through

silvopastoral management in tropical conditions. *International Journal of Biometeorology, 70*(1), 27. https://doi.org/10.1007/s00484-025-03063-7

Mello, A., Carnevalli, R., Shiratsuchi, L., Pedreira, B., Lopes, L., & Xavier, D. (2017). Improved grazing activity of dairy heifers in shaded tropical grasslands. *Ciência Rural, 47*(2). https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160316

Murga-Orrillo, H., Arévalo López, L., Mathios, M., Cáceres, J., García, M., Guerra, A., & Valderrama, N. (2025). Silvopasture and altitudinal gradient reduce heat stress in livestock production in the Peruvian tropics. *Frontiers in Animal Science, 6*, 1521790. https://doi.org/10.3389/fanim.2025.1521790

Narváez-Herrera, J., Angulo-Arizala, J., Barragán-Hernández, W., Riascos-Guerrero, Y., & 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*(8), 216. https://doi.org/10.1007/s10457-025-01292-8

Page, M., McKenzie, J., Bossuyt, P., Boutron, I., Hoffmann, T., Mulrow, C., Shamseer, L., Tetzlaff, J., Akl, E., Brennan, S., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J., Hróbjartsson, A., Lalu, M., Li, T., Loder, E., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ, 372*, n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

Pérez-Hernández, V. M., López-Ortiz, S., Pérez-Elizalde, S., Pérez-Hernández, P., Castillo-Gallegos, E., & Jarillo-Rodríguez, 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

Reis, N., Ferreira, I., Mazocco, L., Souza, A., Pinho, G., da Fonseca, Á., Malaquias, J., Macena, F., Muller, A., Martins, C., Balbino, L., & McManus, C. (2021). Shade modifies behavioral and physiological responses of low to medium production dairy cows at pasture in an integrated crop-livestock-forest system. *Animals, 11*(8), 2411. https://doi.org/10.3390/ani11082411

Sánchez-Santana, T., López-Vigoa, O., Iglesias-Gómez, J. M., Lamela-López, L., & Soca-Perez, M. (2018). The potential of silvopastoral systems for cattle production in Cuba. *Elementa: Science of the Anthropocene, 6*, 82. https://doi.org/10.1525/elementa.334

Santos, S., Saraiva, E., Gonzaga, S., Maia, M., Lees, A., Sejian, V., Maia, A., Medeiros, G., & Fonsêca, V. (2022). Heat tolerance, thermal equilibrium and environmental management strategies for dairy cows living in intertropical regions. *Frontiers in Veterinary Science, 9*, 988775. https://doi.org/10.3389/fvets.2022.988775

Schmitt, A., Kretzer, S., Farley, J., Kazama, D., Sinisgalli, P., & Deniz, M. (2023). Applied nucleation under high biodiversity silvopastoral system as an adaptive strategy against microclimate extremes in pasture areas. *International Journal of Biometeorology, 67*(7), 1199–1212. https://doi.org/10.1007/s00484-023-02488-2

Skonieski, F., Souza, E., Gregolin, L., Fluck, A., Costa, O., Destri, J., & Neto, A. (2021). Physiological response to heat stress and ingestive behavior of lactating Jersey cows in silvopasture and conventional pasture grazing systems in a Brazilian subtropical climate zone. *Tropical Animal Health and Production, 53*(2), 213. https://doi.org/10.1007/s11250-021-02648-9

Transparencia

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés de naturaleza alguna como parte de la presente investigación.

Fuente de financiamiento

Los autores financiaron completamente la investigación.

Contribución de autoría

Brenda Pamela Guananga Gutiérrez: Conceptualización, metodología, análisis formal, investigación, gestión de datos, visualización, redacción - preparación del borrador original, redacción - revisión y edición, financiamiento.

Hugo Alejandro Castro Albán: Validación, redacción - revisión y edición, financiamiento, administración del proyecto, recursos, supervisión.

Freddy Román Guananga Díaz:, Metodología, software, gestión de datos, financiamiento.

Los autores contribuyeron activamente en el análisis de los resultados, revisión y aprobación del manuscrito final.