



Caracterización de sistemas silvopastoriles como estrategias de gestión sostenible

Anadelia Antonio-Medina¹  Aurelio Morales-Rivera² 
Jacinto Efrén Ramírez-Bribiesca³  David Paredes-Díaz⁴ 

Universidad Intercultural del estado de Puebla, División de Ciencias Naturales,
Lipuntahuaca, Huehuetla, Puebla. C.P. 73475. México.

Characterization of silvopastoral systems as sustainable management strategies

Abstract. Conventional livestock production faces increasing environmental and productivity challenges that demand the adoption of more sustainable models. In this context, silvopastoral systems have been promoted as integrated strategies that combine trees, pastures, and animals in a single productive system, offering multiple benefits. The objective of this review is to characterize the silvopastoral system as an effective strategy for sustainable natural resource management. This analysis is based on current scientific literature describing the structure, functions, and outcomes of these systems in different agroecological settings. The relevance of the silvopastoral approach lies in its potential to improve animal productivity, conserve soil, regulate the water cycle, sequester carbon, and enhance biodiversity. Additionally, its contributions to climate resilience and sustainable rural income generation are discussed. However, major adoption barriers are also identified, including technical limitations, lack of training, cultural resistance, and insufficient public policy support. Successful case studies from Latin America are presented, demonstrating the system's feasibility under certain institutional and environmental conditions. In conclusion, the silvopastoral system represents a viable and sustainable alternative to conventional livestock practices, yet its broader implementation requires supportive policies, applied research, and continuous rural education. This review provides a conceptual and practical framework to guide producers, technicians, researchers, and policymakers interested in transitioning to ecologically and economically balanced production systems.

Keywords: Agricultural sustainability, ecosystem services, soil conservation, sustainable livestock production, functional biodiversity

Resumen. La ganadería convencional enfrenta desafíos ambientales y productivos crecientes que exigen la adopción de modelos más sostenibles. En este contexto, los sistemas silvopastoriles han sido promovidos como una estrategia integral que combina árboles, pasturas y animales en un solo sistema de producción, ofreciendo beneficios múltiples. El objetivo de esta revisión es caracterizar el sistema silvopastoril como una estrategia efectiva para la gestión sostenible de los recursos naturales. La revisión se basa en literatura científica actualizada que describe la estructura, funciones y resultados obtenidos en diferentes contextos agroecológicos. Se destaca la relevancia del enfoque silvopastoril por su capacidad para mejorar la productividad animal, conservar el suelo, regular el ciclo hidrológico, captar carbono y fomentar la biodiversidad. Además, se discuten sus aportes a la resiliencia frente al cambio climático y su potencial para generar ingresos sostenibles para productores rurales. Sin embargo, también se identifican barreras importantes en su adopción, como limitaciones técnicas, falta de capacitación, resistencia cultural y políticas públicas insuficientes. Se presentan casos exitosos en América Latina que muestran la viabilidad del sistema bajo ciertas condiciones institucionales y ambientales. En conclusión, el

Recibido: 2025-07-08. Revisado: 2025-08-23. Aceptado: 2025-09-29

¹Autor correspondiente: aumori236@hotmail.com

²Instituto Tecnológico Superior De Juan Rodríguez Clara. Carretera estatal a Nopalapan km 1, Col. Las Bodegas, Juan Rodríguez Clara, Veracruz; México. CP. 95670.

³Programa de Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Ganadera. Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo. Montecillo, Estado de México. CP. 56230

⁴Cuerpo Académico de Nutrición Animal y Biotecnología de Rumiantes. Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias, Universidad Autónoma de Baja California. CP. 45850



sistema silvopastoril representa una alternativa viable y sustentable frente a los sistemas ganaderos convencionales, pero su escalamiento requiere políticas de apoyo, investigación aplicada y educación rural continua. Esta revisión ofrece un marco conceptual y práctico que puede orientar a productores, técnicos, investigadores y tomadores de decisiones interesados en la transición hacia modelos de producción más equilibrados ecológica y económicamente.

Palabras clave: Sostenibilidad agropecuaria, servicios ecosistémicos, conservación del suelo, producción ganadera sostenible y biodiversidad funcional.

Caracterização dos sistemas silvopastoris como estratégias de gestão sustentável

Resumo. A pecuária convencional enfrenta crescentes desafios ambientais e produtivos, exigindo modelos mais sustentáveis. Nesse contexto, os sistemas silvopastoris surgem como uma estratégia integrada que combina árvores, pastagens e animais em um único sistema de produção, oferecendo múltiplos benefícios. O objetivo desta revisão é caracterizar o sistema silvopastoril como uma estratégia eficaz para a gestão sustentável dos recursos naturais. A análise baseia-se em literatura científica atualizada que descreve a estrutura, funções e resultados em diferentes contextos agroecológicos. Destaca-se a relevância do enfoque silvopastoril pela sua capacidade de melhorar a produtividade animal, conservar o solo, regular o ciclo hídrico, captar carbono e promover a biodiversidade. Também são discutidos seus aportes à resiliência climática e ao desenvolvimento econômico sustentável de produtores rurais. No entanto, identificam-se barreiras à sua adoção, como limitações técnicas, falta de capacitação, resistência cultural e políticas públicas ineficazes. São apresentados casos bem-sucedidos na América Latina que demonstram a viabilidade do sistema sob determinadas condições institucionais e ambientais. Conclui-se que o sistema silvopastoril representa uma alternativa viável e sustentável frente aos sistemas convencionais, mas sua ampliação requer políticas de incentivo, pesquisa aplicada e educação rural contínua. Esta revisão oferece uma base conceitual e prática que pode orientar produtores, técnicos, pesquisadores e formuladores de políticas na transição para modelos mais equilibrados ecologicamente e economicamente.

Palavras chave: Sustentabilidade agropecuária, serviços ecossistêmicos, conservação do solo, produção pecuária sustentável, biodiversidade funcional.

Introducción

Ante los desafíos globales de degradación ambiental, inseguridad alimentaria y cambio climático, los sistemas silvopastoriles (SSP) se han consolidado como una estrategia agroecológica clave para transitar hacia modelos de producción ganadera más resilientes, sostenibles y multifuncionales (Adegbeye *et al.*, 2024; Bilotto *et al.*, 2024). Estos sistemas, que integran árboles, forrajes y animales en una misma unidad productiva, permiten compatibilizar la productividad pecuaria con la conservación de los recursos naturales, al proporcionar servicios ecosistémicos fundamentales como el secuestro de carbono, regulación hídrica y el mantenimiento de la biodiversidad (De Macêdo Carvalho *et al.*, 2024; Lecegui *et al.*, 2022). En regiones tropicales y subtropicales, los SSP se han implementado como alternativa al pastoreo extensivo y a los monocultivos ganaderos. Se ha demostrado su efectividad para mejorar la fertilidad del suelo, diversificar los ingresos y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (Rivera *et al.*, 2023; Saucedo-Uriarte *et al.*, 2025). En consecuencia, los SSP representan una alternativa viable frente a la degradación de los recursos naturales y a la creciente

demanda de sostenibilidad en los sistemas ganaderos, consolidándose como objeto de análisis prioritario en la investigación agroecológica contemporánea.

La pertinencia de este trabajo radica en documentar, analizar y caracterizar el funcionamiento de los sistemas silvopastoriles en el sentido donde la ganadería es una actividad económica central, pero del mismo modo es una fuente de presión ambiental creciente (Mackay-Smith *et al.*, 2024; Rivera *et al.*, 2025). Además, los sistemas silvopastoriles se alinean con los compromisos internacionales de sostenibilidad, contribuyendo al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en materia de seguridad alimentaria, acción climática y conservación de ecosistemas terrestres (FAO, 2022). En América Latina, si bien los SSP tienen raíces en prácticas tradicionales como las cercas vivas y los árboles dispersos en potreros, en la actualidad se impulsan bajo diseños técnicos más complejos que buscan maximizar tanto la productividad como los servicios ecosistémicos (Murgueitio *et al.*, 2020). Sin embargo, su adopción a gran escala aún enfrenta limitantes asociadas a

políticas públicas insuficientes, falta de incentivos económicos y carencias en la transferencia de conocimientos, lo que resalta la importancia de generar evidencia científica que sustente su implementación en diferentes contextos (Andrade *et al.*, 2023). Esta revisión orienta a que los sistemas silvopastoriles constituyen una herramienta de gestión sostenible en la producción animal cuando se diseñan bajo principios técnicos,

ecológicos y sociales (Vikas y Ranjan, 2024; Rivera *et al.*, 2023). Por tanto, el objetivo es caracterizar los elementos estructurales, ecológicos y socioeconómicos de los sistemas silvopastoriles, además de evaluar el potencial como estrategia de manejo sostenible para unidades productivas ganaderas ubicadas en territorios con alta presión sobre los recursos naturales.

Fundamentos teóricos y funcionales del sistema silvopastoril

Los SSP representan una estrategia innovadora y sólida ecológicamente para la producción ganadera, especialmente en ámbitos rurales donde la sostenibilidad ambiental es prioritaria. Este modelo de uso del suelo se caracteriza por la integración deliberada y funcional de árboles, arbustos forrajeros y animales en una misma unidad productiva (Krüger *et al.*, 2024; Mackay-Smith *et al.*, 2024). Su objetivo es armonizar la productividad pecuaria con la conservación de los recursos naturales, promoviendo un manejo más resiliente frente al cambio climático y la degradación del paisaje. A diferencia de los sistemas de pastoreo extensivo o monocultivos, que tienden a generar pérdida de la biodiversidad, erosión del suelo, y dependencia de insumos externos, los SSP fomentan relaciones sinérgicas entre los componentes vegetales y animales (De Oliveira *et al.*, 2023; Adegbeye *et al.*, 2024). Esto se traduce en beneficios como la mejora en la fertilidad del suelo, el secuestro de carbono, la regulación del microclima, y el incremento de la diversidad biológica (Rivera *et al.*, 2023; Díaz *et al.*, 2025). Estos sistemas, más allá de su dimensión productiva, operan bajo principios ecológicos que se rigen del mismo modo que en pastizales naturales. Donde la productividad y la estabilidad dependen del flujo de energía primaria y de las trayectorias sucesionales de la vegetación, procesos que aseguran la resiliencia comunitaria (Poorter *et al.*, 2024; Song *et al.*,

2020). La regulación de disturbios y la exclusión estratégica del pastoreo permiten mantener el equilibrio energético y mejorar el almacenamiento de carbono en el suelo (Julihaite *et al.*, 2025). Así, la integración de especies arbóreas en los sistemas silvopastoriles no solo diversifica la oferta forrajera, sino que fortalece la estabilidad del ecosistema al incrementar la diversidad funcional (Zheng *et al.*, 2024; He *et al.*, 2023). Especies como la *Leucaena leucocephala*, aportan forraje de alto valor nutricional, mejoran la disponibilidad de minerales esenciales durante todo el año y fortalecen la salud del hato ganadero (Rodríguez-Serrano *et al.*, 2021). Investigaciones como las de De la Peña-Domene *et al.* (2022) han demostrado que los sistemas enriquecidos con especies arbóreas nativas pueden integrarse exitosamente en comunidades rurales, generando beneficios ecológicos sin comprometer la productividad pecuaria. Las percepciones locales de igual forma juegan un rol clave. Juárez *et al.* (2023) documentaron el conocimiento multiespecie de los productores en Campeche, México; destacando el valor integral del árbol dentro del sistema: fuente de sombra, madera, alimento y regulación hídrica. Este entendimiento empírico se alinea con propuestas técnicas y científicas contemporáneas, consolidando al SSP como un sistema bio-socio-productivo robusto (Mouratiadou *et al.*, 2024; Picasso & Pizarro, 2024).

Rol del sistema silvopastoril en la gestión sostenible

Los SSP constituyen una estrategia agroecológica integral donde se busca equilibrar la producción ganadera con la conservación de los recursos naturales. Adegbeye *et al.* (2024) destacan que la integración funcional de árboles, forrajes y animales dentro de una misma unidad productiva representa una alternativa sólida frente a los sistemas convencionales, que tienden a simplificar los agroecosistemas. Los SSP generan beneficios ecológicos e incremento de la productividad biológica, la mejora del suelo, la regulación del microclima y la conservación de la biodiversidad, además de impactos sociales positivos (Díaz *et al.*, 2025; Rivera *et al.*, 2023).

Estudios recientes han demostrado que estos sistemas mejoran la infiltración y calidad del agua, actúan como sumideros de carbono eficaces y fortalecen la conectividad ecológica, favoreciendo la presencia de especies silvestres (De Macêdo Carvalho *et al.*, 2024). El conocimiento de los productores resalta estos beneficios, al identificar que generan valor ambiental, paisajístico y productivo (Röhrig *et al.*, 2020). Una gestión adecuada de los elementos vegetativos y ganaderos dentro del sistema permite maximizar las sinergias entre producción y conservación, reduciendo la aparente contradicción entre rentabilidad y

sostenibilidad (Lecegui *et al.*, 2022). La estructura del sistema silvopastoril influye directamente en su capacidad para proveer servicios ecosistémicos, por lo que exige un manejo técnico y ecológico adecuado (Álvarez *et al.*, 2023). En cuanto a la sostenibilidad agroambiental y económica, los SSP ofrecen una solución frente a las limitaciones de modelos intensivos. Al diversificar las fuentes de ingreso y reducir la dependencia de insumos externos, mejoran la estabilidad económica del productor, y favorecen procesos ecológicos como la conservación del suelo, eficiencia en el uso de recursos y resiliencia frente al clima (Peri *et al.*, 2024; Sauer *et al.*, 2021). La adopción de prácticas silvopastoriles sostenibles depende del acceso a información técnica, valorización del conocimiento local y apoyo institucional (Tschopp *et al.*, 2021). Desde el punto de vista técnico, su implementación requiere planificación espacial,

selección de especies adaptadas, manejo del pastoreo, generando beneficios a corto y largo plazo (Pent *et al.*, 2021). Con estos elementos los SSP contribuyen significativamente al manejo sostenible de los recursos naturales, mediante un pastoreo regulado bajo cobertura arbórea y el uso controlado del forraje, lo que mejora conservación del suelo, la eficiencia del ciclo de nutrientes y reduce el impacto ambiental de la ganadería convencional (Sales-Baptista y Ferraz-De-Oliveira, 2021). Las decisiones de adopción por parte de los productores están influenciadas por la percepción de beneficios múltiples, condiciones del entorno productivo y disponibilidad de incentivos técnicos y económicos (Jara-Rojas *et al.*, 2020; Opdenbosch y Hansson, 2022). En conjunto los SSP se consolidan como un eje de transformación agroecológico que equilibra conocimientos técnicos, viabilidad económica y compromiso ambiental.

Beneficios productivos, ambientales y sociales

Los sistemas silvopastoriles (SSP) no solo representan una estrategia sostenible para la producción ganadera, además son una solución integral que ofrece beneficios simultáneos en los ámbitos productivo, ambiental y social (Adegbeye *et al.*, 2024). Una implementación adecuada de los sistemas silvopastoriles permite optimizar el uso del espacio y los recursos naturales, generando un equilibrio entre la rentabilidad económica y la sostenibilidad ecológica. De Oliveira *et al.* (2023) señalan que los SSP mejoran significativamente la calidad nutricional del forraje y reducen el estrés térmico en los animales, lo cual se traduce en mayores niveles de bienestar y productividad. Además, diversos estudios han confirmado que estos sistemas son eficaces para aumentar la producción de carne y leche al favorecer prácticas de pastoreo más eficientes (Adegbeye *et al.*, 2024).

En los SSP, la mejora en la calidad nutricional del forraje se convierte en mayor aprovechamiento de nutrientes por el ganado, esto impacta de forma positiva en la productividad de carne y leche. La disponibilidad de especies arbóreas y herbáceas complementarias favorece la eficiencia digestiva y reduce el estrés térmico en los animales, generando mejores condiciones para el bienestar y desempeño fisiológico (De Oliveira *et al.*, 2023; Smith *et al.*, 2021; Seidou *et al.*, 2023). Asimismo, estudios en vacas lecheras se ha demostrado que la evaluación de la excreción fecal, el consumo y la digestibilidad mediante marcadores externos constituye una herramienta confiable para medir la eficiencia alimenticia, lo que refuerza la importancia de los SSP en la optimización del uso del forraje y el incremento de la productividad (De Souza *et al.*, 2015).

Estudios han documentado mejoras en el rendimiento reproductivo, la producción de leche y la tasa de conversión alimenticia bajo condiciones de sistemas arbolados en comparación con pasturas convencionales (Smith *et al.*, 2021; Seidou *et al.*, 2023). Estas mejoras responden a factores como el microclima más estable, la mayor disponibilidad de sombra y la complementariedad nutricional de especies forrajeras arbóreas y herbáceas (Bussoni *et al.*, 2021; Varela *et al.*, 2022). En el ámbito ambiental, los SSP aportan significativamente a la conservación del suelo y la captura de carbono. Las raíces de los árboles contribuyen a reducir la erosión, mejorar la estructura del suelo y favorecer la retención de agua. Además, la incorporación de leguminosas arbóreas mejora el ciclo del nitrógeno, incrementando la fertilidad del suelo sin necesidad de fertilizantes sintéticos (Sarabia *et al.*, 2019). Estos sistemas todavía permite mayor biodiversidad funcional, al crear hábitats diversos para insectos, aves y microorganismos beneficiosos, lo cual refuerza la salud general del ecosistema productivo (Huertas *et al.*, 2021; Kinneen *et al.*, 2023). Vargas *et al.* (2022) señalan que estrategias como el manejo rotacional, la inclusión de leguminosas y ciertos suplementos pueden mitigar las emisiones de metano, aunque sus efectos pueden variar según las condiciones del sistema. Este enfoque basado en mezclas funcionales podría complementar los principios estructurales de los SSP y fortalecer su impacto ambiental (Badgery *et al.*, 2023). La disposición adecuada de los árboles en el sistema contribuye, además, a mitigar los efectos del calor sobre los animales, lo que se traduce en un entorno más favorable para su bienestar y rendimiento fisiológico (Deniz *et al.*,

2023; Lemes *et al.*, 2021). Desde el punto de vista social, los SSP promueven mejoras en el bienestar animal y humano, al facilitar condiciones de trabajo más agradables, reducir conflictos por el uso del suelo y aumentar la autonomía productiva de las familias ganaderas. Se ha identificado que estos sistemas favorecen la resiliencia rural, al diversificar las fuentes de ingreso y permitir una mayor integración del conocimiento local en la gestión del agroecosistema (Schinato *et al.*, 2024; Quevedo-Cascante *et al.*, 2024). Asimismo, se reconoce el potencial de los SSP para contribuir a la transición hacia sistemas agropecuarios bajos en carbono, fortaleciendo las estrategias de adaptación al cambio climático y promoviendo paisajes más estables y equitativos (Cameroni *et al.*, 2024; Yaebiyó *et al.*, 2024).

Kumar *et al.* (2025) destacan que los sistemas silvopastoriles, en contextos de alta variabilidad climática como la India, han resultado efectivos para sostener la productividad forrajera y mejorar la sostenibilidad

ganadera. Su implementación favorece la conservación de suelo y agua, así como la diversificación del sistema. En este sentido, los SSP se consolidan como una alternativa sólida para transformar de manera sostenible la producción animal. En particular, la incorporación de leguminosas forrajeras en pastizales ha mostrado un alto potencial para reducir las emisiones de metano y óxidos de nitrógeno, principales contribuyentes al calentamiento global (Cardoso *et al.*, 2022). Rivera *et al.* (2025) destacan que la integración exitosa de estos sistemas se requiere no solo del conocimiento técnico, incluso de planificaciones participativas y el involucramiento activo de las comunidades rurales. Además, su implementación debe ir acompañada de políticas públicas que reconozcan su valor multifuncional y fomenten su escalamiento territorial. Esta triple contribución, productiva, ambiental y social, posiciona a los SSP como un modelo estratégico para la transición hacia sistemas agropecuarios más resilientes, equitativos e integrados (Bilotto *et al.*, 2024).

Limitantes y desafíos en su implementación

Aunque los sistemas silvopastoriles (SSP) ofrecen múltiples beneficios productivos, ambientales y sociales, su adopción generalizada enfrenta importantes limitaciones técnicas, económicas y socioculturales que dificultan su implementación a gran escala. Estas barreras no solo se presentan en el nivel productivo, sino además reflejan desafíos estructurales y de gobernanza que requieren atención integral. Entre los obstáculos técnicos, destacan la falta de conocimiento especializado sobre el diseño, manejo y monitoreo de SSP, así como la limitada disponibilidad de asistencia técnica capacitada para acompañar procesos de transición. La complejidad inherente a la integración de componentes arbóreos, forrajeros y animales exige habilidades agronómicas, ecológicas y de planificación que no siempre están disponibles entre los productores o agentes de extensión (Špirić y Ramírez, 2023; Sandino *et al.*, 2023). Además, las limitaciones en la disponibilidad de especies forestales adecuadas y el escaso acceso a tecnologías adaptadas actúan como frenos técnicos significativos (Márquez-Hernández *et al.*, 2025). La disposición espacial de los árboles dentro de los sistemas silvopastoriles constituye un aspecto técnico clave, ya que influye directamente en la provisión de sombra, la competencia por recursos y el aprovechamiento forrajero. Sin embargo, su efectividad todavía depende del conocimiento y las actitudes de los asesores ganaderos, quienes pueden mostrar percepciones diversas frente a las configuraciones arbóreas y su manejo en campo (De-Sousa *et al.*, 2023). En el plano económico, uno de los principales desafíos

radica en los costos iniciales de establecimiento y en el periodo prolongado de retorno de inversión. La incorporación de árboles y estructuras de manejo adaptativo puede resultar financieramente inalcanzable para pequeños productores sin incentivos externos o financiamiento específico (Zabala *et al.*, 2022). A ello se suma la falta de mercados diferenciados que reconozcan el valor agregado de productos provenientes de sistemas silvopastoriles, lo cual reduce el atractivo económico de estos modelos (Tranchina *et al.*, 2024). Desde una perspectiva sociocultural, se han identificado resistencias vinculadas a patrones tradicionales de manejo ganadero, percepciones erróneas sobre la productividad de los SSP y la desvalorización del conocimiento ecológico local. La transición desde sistemas convencionales requiere cambios sustanciales en las prácticas, la mentalidad y las dinámicas de toma de decisiones, aspectos que muchas veces son subestimados en los programas de intervención (Figuerola *et al.*, 2025). Asimismo, la desconfianza hacia programas institucionales y la falta de participación efectiva de las comunidades en el diseño de los proyectos limitan la apropiación social de los sistemas silvopastoriles (Andablo-Reyes *et al.*, 2023; Calle, 2023). Las experiencias de adopción tecnológica han mostrado que la integración de saberes locales y científicos, así como la co-creación de estrategias de implementación, puede ser determinante para el éxito de los SSP. Sin embargo, persisten desafíos relacionados con la compatibilidad entre modelos agroecológicos y las lógicas de mercado, así como con

la necesidad de adaptar las tecnologías a contextos diversos en términos ecológicos, culturales y económicos (Dubeuf *et al.*, 2023; Hanisch y Pinotti, 2024). Por otro lado, la transición desde sistemas convencionales hacia modelos silvopastoriles exige una reestructuración profunda del sistema productivo, la cual implica riesgos, incertidumbre y la necesidad de capacitación técnica continua. Estas transiciones son más viables cuando están respaldadas por políticas públicas claras, incentivos económicos y marcos de

gobernanza inclusiva que articulen esfuerzos entre productores, técnicos, investigadores y tomadores de decisiones (Cameroni *et al.*, 2023; Gebresenbet *et al.*, 2023). En definitiva, superar las limitaciones actuales en la adopción de SSP requiere una visión integral que combine investigación aplicada, innovación tecnológica, fortalecimiento institucional y participación social. Solo bajo estas condiciones será posible consolidar estos sistemas como pilares de una ganadería verdaderamente sostenible, resiliente y equitativa.

Casos de estudio o experiencias regionales

Los sistemas silvopastoriles (SSP) se han estado implementado en diversas regiones tropicales y subtropicales con resultados favorables en términos de productividad, sostenibilidad y mitigación del cambio climático, esto permite que al integrar árboles y pastos en un manejo más eficiente de los recursos existe un aumento de la producción de leche y carne. La práctica acumulada en diferentes entornos señala que los SSP no solo son posibles, pueden ser elementales para alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible en el sector ganadero. Diversos proyectos institucionales y colaborativos liderados por entidades como INIFAP, CIPAV, CATIE y FAO han sido vitales para subir este modelo productivo. Estas propuestas han contribuido al desarrollo de prácticas intensivas basadas en la integración de arbóreas forrajeras, cercas vivas, bancos de proteína y pastoreo racional, con impactos documentados en la reducción de emisiones de metano, el aumento de la productividad animal y la regeneración de suelos degradados (Flores-Coello *et al.*, 2023). En términos de resultados medibles, se han observado incrementos significativos en los ingresos de los productores, una mayor eficiencia en el uso del suelo y mejoras en indicadores de salud animal. Por ejemplo, Mavisoy *et al.* (2025) reportan que los SSP permiten aumentar los stocks de carbono, mejorar la producción de leche y promover el desarrollo tecnológico en fincas ganaderas. En México, además de las experiencias desarrolladas en regiones tropicales y subtropicales, se han documentado prácticas agrosilvícolas tradicionales en zonas áridas. Estos sistemas muestran un alto potencial para diversificar la producción, conservar la biodiversidad y fortalecer la resiliencia cultural y ecológica de las comunidades rurales, aportando aprendizajes valiosos para la expansión y adaptación de los sistemas silvopastoriles modernos (Andablo-Reyes *et al.*, 2023).

Además, estos sistemas generan beneficios adicionales como la restauración de la cobertura forestal, el incremento de la biodiversidad y la mejora del bienestar animal y humano. Los datos disponibles

sugieren que los SSP son efectivos para fortalecer la resiliencia climática, optimizar el uso del agua y conservar servicios ecosistémicos esenciales, como la polinización y el control biológico. A través de estudios en distintos tipos de paisaje y unidades de producción, se ha evidenciado una reducción en la presión sobre áreas boscosas, así como una mayor estabilidad en la producción frente a eventos climáticos extremos (Uribe *et al.*, 2025; Cheng *et al.*, 2023). Las investigaciones en marcha y la creciente evidencia científica consolidan a los sistemas silvopastoriles como un modelo replicable y adaptable, con potencial de escalar en diversas realidades ecológicas y socioeconómicas. No obstante, su éxito depende de marcos de gobernanza efectivos, financiamiento adecuado y acompañamiento técnico continuo que facilite su adopción sostenida.

Experiencias en Colombia, Cuba y México

Los sistemas silvopastoriles (SSP) en América Latina, y particularmente en Colombia, Cuba y México, se han obtenido resultados positivos en la mejora de la producción ganadera y el desarrollo de la sostenibilidad ambiental. En Colombia, se han integrado forrajeras arbustivas como *Cratylia argentea*, *Leucaena leucocephala* y *Tithonia diversifolia* esta combinación ha sido esencial con ello se incremento la disponibilidad de proteínas en época crítica y la calidad del forraje (Argüello-Rangel *et al.*, 2019). Por otra parte, estudios de Murgueitio *et al.* (2015) demuestran que los SSP intensivos aumentan la productividad de carne y leche, al tiempo que reducen emisiones de metano y mejoran la captura de carbono en suelos tropicales. En Cuba, la investigación sobre diseños agrosilvopastoriles destaca su relevancia para el desarrollo ganadero sostenible, al integrar árboles multipropósito y bancos de proteína en condiciones de alta fragilidad edáfica. Iglesias *et al.*, (2017) documentaron la importancia de estos sistemas en la seguridad alimentaria y la resiliencia de los agroecosistemas, mientras que Iglesias *et al.* (2011) resaltaron la diversidad estructural y funcional de los

SSP cubanos y su viabilidad económica en contextos de bajos insumos. En México, los árboles y arbustos forrajeros han sido ampliamente utilizados en regiones tropicales y subtropicales. Cabrera-Núñez *et al.* (2019) reportaron que en el norte de Veracruz los SSP con especies nativas mejoran la oferta alimenticia para el ganado bovino, mientras que Pinto-Ruiz *et al.* (2005) señalaron que en el sureste mexicano la incorporación de arbustos multipropósito favorece tanto la producción de biomasa como la diversificación de recursos para pequeños productores.

Experiencias en zonas templadas y Patagonia

Así mismo no solo en la región tropical se han evaluado los SSP, existen estudios en zonas templadas de Europa, Norteamérica, Oceanía y Asia, así como en la Patagonia chilena y argentina. En Europa, Mosquera-Losada *et al.* (2018) destacaron que la agroforestería, incluida la silvopastura, constituye una herramienta de política para mitigar el cambio climático, aunque metaanálisis recientes evidencian que su efecto en la biodiversidad no es siempre concluyente (Mupepele *et al.*, 2021). En Norteamérica,

Jose y Dollinger (2019) señalaron que la silvopastura es un sistema sostenible con beneficios ambientales y productivos; además, Smith *et al.* (2022) confirmaron en una revisión sistemática que los productores perciben como principales ventajas la diversificación de ingresos y la provisión de sombra para el ganado. De manera similar, Amorim *et al.* (2023) compararon silvopasturas y pasturas convencionales en el sur de EE. UU., encontrando que los SSP proveen mayores servicios ecosistémicos, como la mejora del carbono del suelo, la regulación del microclima y el bienestar animal. En Oceanía, Mackay-Smith *et al.* (2021) diseñaron un marco de evaluación para SSP en zonas de ladera en Nueva Zelanda, evidenciando su potencial para el control de erosión. En Asia, Liu *et al.* (2023) reportaron que en las colinas de Henan (China) los SSP favorecieron el crecimiento arbóreo y la recuperación de suelos frágiles. Finalmente, en la Patagonia argentina y chilena, Alonso y Peri han documentado que los SSP con especies nativas como *Nothofagus antarctica* permiten mantener la productividad ganadera ovina y bovina bajo condiciones edafoclimáticas restrictivas, a la vez que contribuyen a la conservación de suelos y a la regeneración de pastizales.

Síntesis, proyecciones y aplicaciones

Los sistemas silvopastoriles (SSP) constituyen una estrategia agropecuaria multifuncional que responde a los desafíos actuales de sostenibilidad, productividad y adaptación climática. A lo largo de este análisis, se ha evidenciado que los SSP ofrecen beneficios comprobados en tres dimensiones clave: ecológica, económica y social. No obstante, su adopción efectiva continúa limitada por barreras estructurales que deben ser abordadas mediante políticas integradoras, soporte técnico adecuado y procesos participativos. Desde una evaluación crítica, el potencial de los SSP radica en su capacidad de transformar el paradigma productivo convencional hacia un modelo resiliente, diverso y de bajo impacto ambiental. Su eficacia ha sido validada en diversos contextos, con mejoras demostrables en la productividad animal, la salud del suelo, la captura de carbono y el bienestar rural. Sin embargo, la transición hacia este modelo requiere voluntad política, innovación institucional y un rediseño de los esquemas de incentivos que tradicionalmente han favorecido prácticas extractivas o poco sostenibles. La evidencia científica muestra que cuando se implementan con enfoque técnico y adaptación local, los SSP logran consolidarse como sistemas regenerativos con impacto a largo plazo. Con base en los hallazgos expuestos, se proponen las siguientes recomendaciones: 1.- Para productores agropecuarios, se sugiere iniciar con escalas

piloto, seleccionar especies adaptadas al entorno y adoptar un enfoque de manejo integral, que combine conocimientos tradicionales con asesoría técnica especializada. La diversificación de componentes del sistema permite reducir riesgos productivos y mejorar la estabilidad de ingresos. 2.- A los técnicos y extensionistas, se les recomienda promover modelos participativos de diseño y evaluación de los sistemas, priorizando la capacitación continua, el monitoreo de resultados y la generación de indicadores agroecológicos y socioeconómicos. Su rol como puente entre la ciencia y la práctica es determinante para lograr transiciones efectivas. 3.- Para los formuladores de políticas públicas, es fundamental establecer marcos normativos y financieros que reconozcan los múltiples servicios ecosistémicos que proveen los SSP. Esto incluye facilitar el acceso a créditos verdes, incorporar estos sistemas en los programas de mitigación y adaptación climática, y promover instrumentos de pago por servicios ambientales. En perspectiva, los sistemas silvopastoriles no solo deben entenderse como una técnica productiva, sino como una estrategia de gestión territorial sostenible que integra producción, conservación y equidad. Su promoción activa en agendas públicas y privadas es esencial para avanzar hacia modelos agroalimentarios más resilientes y justos en el contexto actual de crisis climática y degradación ambiental.

Conclusiones

En esta revisión se caracterizó el sistema silvopastoril como una estrategia integral de producción ganadera sustentada en principios ecológicos, técnicos y sociales, cuyo diseño permite conciliar objetivos productivos con funciones ecosistémicas clave. Se evidenció que este modelo mejora de manera significativa la provisión de servicios ecosistémicos como la regulación hídrica, el secuestro de carbono, la conservación de la biodiversidad funcional y la fertilidad del suelo, además de generar beneficios en términos de bienestar animal, eficiencia reproductiva y resiliencia socioeconómica. Estas ventajas se expresan particularmente en contextos donde los sistemas convencionales han promovido procesos de degradación ambiental, simplificación de paisajes y vulnerabilidad productiva. La evidencia revisada confirma que, bajo condiciones de planificación adecuada y manejo adaptativo, los sistemas silvopastoriles superan ampliamente las limitaciones de los modelos tradicionales de pastoreo o monocultivo, respondiendo de manera efectiva a las exigencias contemporáneas de sostenibilidad agropecuaria. En respuesta a la hipótesis planteada, se concluye que los sistemas silvopastoriles, cuando se estructuran a partir de una integración funcional entre árboles, forraje y ganado, constituyen una herramienta eficiente para la gestión sostenible de unidades productivas. Esta

afirmación se sustenta en una base teórica sólida y en múltiples experiencias de implementación que demuestran mejoras simultáneas en productividad, conservación de recursos y calidad de vida rural. No obstante, su adopción generalizada aún enfrenta importantes desafíos técnicos, económicos y culturales, como la falta de asesoría especializada, los costos de establecimiento y las barreras institucionales que limitan su escalamiento, lo que refuerza la necesidad de políticas públicas inclusivas y mecanismos de financiamiento adecuados. Desde esta perspectiva, las líneas futuras de investigación deben orientarse a optimizar el diseño estructural de los sistemas silvopastoriles bajo diferentes condiciones agroecológicas, evaluar sus efectos acumulativos en escalas temporales y espaciales mayores, y desarrollar indicadores integrados de sostenibilidad que permitan monitorear sus impactos en el largo plazo. Igualmente es indispensable generar evidencia sobre modelos de gobernanza, cadenas de valor diferenciadas y estrategias de coinnovación que faciliten la adopción participativa de estos sistemas. En conjunto, estos enfoques contribuirán a consolidar los sistemas silvopastoriles como un eje transformador de los territorios rurales hacia escenarios más resilientes, diversos y equitativos.

Agradecimientos

Agradecemos al Instituto Tecnológico Superior de Juan Rodríguez Clara (ITSJRC) por su colaboración en la vinculación académica, el acompañamiento estudiantil y el apoyo durante la generación de información en campo. De igual forma, reconocemos el respaldo institucional del Programa de Posgrado en Recursos Genéticos y Productividad - Ganadería (PREGEP-Ganadería) del Colegio de Postgraduados

(Campus Montecillo), por su orientación académica y apoyo metodológico en la etapa de análisis. Se extiende un agradecimiento especial a las comunidades y productores locales que participaron activamente en el desarrollo del estudio, así como a los asesores técnicos y docentes que brindaron su acompañamiento a lo largo del proceso.

Contribución de los autores: **Anadelia Antonio-Medina:** conceptualización del manuscrito, redacción principal, integración de resultados y análisis crítico. **Aurelio Morales-Rivera:** co-redacción del manuscrito, estructuración temática y apoyo en el marco teórico. **Efrén Ramírez-Bribiesca:** revisión crítica del manuscrito, corrección de contenido técnico y edición final. **David Paredes-Díaz:** revisión crítica del manuscrito, corrección de contenido técnico y edición final. Todos los autores revisaron y aprobaron la versión final del manuscrito para su publicación.

Financiamiento: Este estudio no recibió financiamiento específico.

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Declaración ética: Este artículo no requirió aprobación por comité de ética, al no involucrar experimentación directa con animales.

Editado por: Omar Araujo-Febres



Literatura Citada

- Adebeye, M. J., Ospina, S. D., Waliszewski, W. S., Sierra-Alarcón, A. M., & Mayorga-Mogollón, O. L. (2024). Potential application of Latin American silvopastoral systems experiences for improving ruminant farming in Nigeria: a review. *Agroforestry Systems*, 98(5): 1257–1272. <https://doi.org/10.1007/s10457-023-00943-y>
- Álvarez, F., Casanoves, F., Suárez, J. C., Rusch, G. M., Bieng, M. a. N. (2023). An assessment of silvopastoral systems condition and their capacity to generate ecosystem services in the Colombian Amazon. *Ecosystems and People*, 19(1). <https://doi.org/10.1080/26395916.2023.2213784>
- Amorim, H. C. S., Ashworth, A. J., O'Brien, P. L., Thomas, A. L., Runkle, B. R. K., Philipp, D. (2023). Temperate silvopastures provide greater ecosystem services than conventional pasture systems. *Scientific Reports*, 13 (18658). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-45960-0>
- Andablo-Reyes, A. del C., Moreno-Calles, A. I., Cancio-Coyac, B. A., Gutiérrez-Coatecatl, E., Rivero-Romero, A. D., Hernández-Cendejas, G., & Casas, A. (2023). Agri-silvicultures of Mexican Arid America. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 19(1): 39. <https://doi.org/10.1186/s13002-023-00612-5>
- Argüello-Rangel, J., Mahecha-Ledesma, L., Angulo-Arizala, J. (2019). Arbustos forrajeros: relevancia en sistemas ganaderos de tierras bajas colombianas. *Agronomía Mesoamericana*, 30(3): 899 - 915. <https://doi.org/10.15517/am.v30i3.35136>
- Badgery, W., Li, G., Simmons, A., Wood, J., Smith, R., Peck, D., Ingram, L., Durmic, Z., Cowie, A., Humphries, A., Hutton, P., Winslow, E., Vercoe, P., & Eckard, R. (2023). Reducing enteric methane of ruminants in Australian grazing systems: A review of the role for temperate legumes and herbs. *Crop & Pasture Science*, 74(7-8): 661–679. <https://doi.org/10.1071/CP22299>
- Bilotto, F., Harrison, M. T., Vibart, R., Mackay, A., Christie-Whitehead, K. M., Ferreira, C. S., Cottrell, R. S., Forster, D., & Chang, J. (2024). Towards resilient, inclusive, sustainable livestock farming systems. *Trends in Food Science & Technology*, 152(104668):1-16. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104668>
- Bussoni, A., Cabbage, F., & Giamb Bruno, J. A. (2021). Silvopastoral systems and multi-criteria optimization for compatible economic and environmental outcomes. *Agricultural Systems*, 190 (103118). <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103118>
- Cabrera-Núñez, A., Lammoglia-Villagómez, M., Alarcón-Pulido, S., Martínez-Sánchez, C., Rojas-Ronquillo, R., Velázquez-Jiménez, S. (2019). Árboles y arbustos forrajeros utilizados para la alimentación de ganado bovino en el norte de Veracruz, México. *Abanico Veterinario*, 9(1):1-12 <https://doi.org/10.21929/abavet2019.913>
- Calle, A. (2023). Silvopastoral Systems: a pathway to Scale-Up restoration in Colombia. In Springer eBooks (55-71 pp.). https://doi.org/10.1007/978-3-031-43063-3_3
- Cameroni, F. J. D., Casadey, F. V., Boscana, M., Bussoni, A. (2023). Toward neutral carbon integrated production y silvopastoral systems: an Uruguayan study case modeled using agent-based technique. *Research Square* (Research Square). <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3640428/v1>
- Cameroni, F. J. D., Casadey, F. V., Boscana, M., Schinatto, F., & Bussoni, A. (2024). Advancing carbon neutrality in Silvopastoral systems: a case study applying agent-based modeling. *Agroforestry Systems*, 98(7): 2209-2224. <https://doi.org/10.1007/s10457-024-00983-y>
- Cardoso, A. da S., Longhini, V. Z., Berça, A. S., Ongaratto, F., Siniscalchi, D., Reis, R. A., & Ruggier, A. C. (2022). Pasture management and greenhouse gases emissions. *Bioscience Journal*, 38(e38099): 1-11. <https://doi.org/10.14393/BJ-v38n0a2022-60614>
- Cheng, S. H., Costedoat, S., Sigouin, A., Calistro, G. F., Chamberlain, C. J., Lichtenhal, P., Mills, M., Nowakowski, A. J., Sterling, E. J., Tinsman, J., Wiggins, M., Brancalion, P. H. S., Canty, S. W. J., Fritts-Penniman, A., Jagadish, A., Jones, K., Mascia, M. B., Porzecanski, A., Zganjar, C., & Brenes, C. L. M. (2023). Assessing evidence on the impacts of nature-based interventions for climate change mitigation: a systematic map of primary and secondary research from subtropical and tropical terrestrial regions. *Environmental Evidence*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/s13750-023-00312-3>
- De La Peña-Domene, M., Ayestarán-Hernández, L. M., Márquez-Torres, J. F., Martínez-Monroy, F., Rivas-Alonso, E., Carrasco-Carballido, P. V., Pérez-Cruz, M. N., Landa, F. a. C., Martínez-Garza, C. (2022). Sistemas silvopastoriles enriquecidos: una propuesta para integrar la conservación en la producción ganadera en comunidades rurales de Los Tuxtlas, México. *Acta Botánica Mexicana*, 129. <https://doi.org/10.21829/abm129.2022.1925>

- De Macêdo Carvalho, C. B., De Mello, A. C. L., Da Cunha, M. V., De Oliveira Apolinário, V. X., Júnior, J. C. B. D., Da Silva, V. J., Medeiros, A. S., Izidro, J. L. P. S., & Bretas, I. L. (2024). Ecosystem services provided by silvopastoral systems: a review. *The Journal of Agricultural Science*, 1-68. <https://doi.org/10.1017/s0021859624000595>
- De Oliveira, A. F., Menezes, G. L., Gonçalves, L. C., De Araújo, V. E., Ramirez, M. A., Júnior, R. G., Jayme, D. G., & Lana, Â. M. Q. (2023). Effects of shading on tropical grass characteristics and cattle performance in silvopastoral systems: systematic review and meta-analysis. *Animal Production Science*, 63(13): 1324-1339. <https://doi.org/10.1071/an22313>
- Deniz, M., De-Sousa, K. T., Vieira, F. M. C., Vale, M. M. D., Dittrich, J. R., Daros, R. R., & Hötzel, M. J. (2023). A systematic review of the effects of silvopastoral system on thermal environment and dairy cows' behavioral and physiological responses. *International Journal of Biometeorology*. <https://doi.org/10.1007/s00484-023-02431-5>
- De-Sousa, K. T., Deniz, M., Hill, J. a. G., Dittrich, J. R., & Hötzel, M. J. (2023). Tree arrangements for silvopastoral system: livestock advisors' knowledge and attitudes. *Agroforestry Systems*, 97(6):1143-1156. <https://doi.org/10.1007/s10457-023-00853-z>
- De Souza, J., Batistel, F., Welter, K. C., Silva, M. M. V., Costa, D. F., & Santos, F. A. P. (2015). Evaluation of external markers to estimate fecal excretion, intake and digestibility in dairy cows. *Tropical Animal Health and Production*, 47(2): 265-268. <https://doi.org/10.1007/s11250-014-0674-6>
- Díaz, M., Alegre, J., Gómez, C., García, C., & Arévalo-Hernández, C. (2025). Effect of Light on Yield, Nutritive Value of *Brachiaria decumbens*, and Soil Properties in Silvopastoral Systems, Peruvian Amazon. *Grasses*, 4(2): 18. <https://doi.org/10.3390/grasses4020018>
- Dubeuf, J., Biehlmann, F., Lorton, R., Sorba, J., & Valenti, M. (2023). Assessing the operational perspectives of agrosilvopastoralism in the Mediterranean Region: Learnings from observations in Corsica. *Small Ruminant Research*, 229, 107131. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2023.107131>
- Figuroa, D., Galicia, L., Foucat, V. S. Á., & Díaz-Morales, B. (2025). Applying the socio-ecological systems framework to assess the sustainability of tropical cattle ranching in Mexico. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1446965>
- Flores-Coello, G., Hernández-Medrano, J. H., Ku-Vera, J., Diaz, D., Solorio-Sánchez, F. J., Sarabia-Salgado, L., Galindo, F. (2023). Intensive Silvopastoral Systems Mitigate Enteric Methane Emissions from Cattle. *Atmosphere*, 14(5): 863. <https://doi.org/10.3390/atmos14050863>
- Gebresenbet, G., Bosona, T., Patterson, D., Persson, H., Fischer, B., Mandaluniz, N., Chirici, G., Zacepins, A., Komasilovs, V., Pitulac, T., & Nasirahmadi, A. (2023). A concept for application of integrated digital technologies to enhance future smart agricultural systems. *Smart Agricultural Technology*, 5, 100255. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100255>
- Hanisch, A. L., & Pinotti, L. C. A. (2024). Co-Creating Strategies to Optimize Traditional Silvopastoral Systems through the Management of Native Trees in Caívas in Southern Brazil. *Conservation*, 4(1), 65-81. <https://doi.org/10.3390/conservation4010005>
- He, M., Ma, Z., Liu, Y., & Guo, X. (2023). Research Progress of Grassland Ecosystem Structure and Stability. *Plants*, 12(4): 770. <https://doi.org/10.3390/plants12040770>
- Huertas, S. M., Bobadilla, P. E., Alcántara, I., Akkermans, E., & Van Eerdenburg, F. J. C. M. (2021). Benefits of silvopastoral systems for keeping beef cattle. *Animals*, 11(4): 992. <https://doi.org/10.3390/ani11040992>
- Iglesias, J. M., Funes-Monzote, F., Toral, O. C., Milera, M. (2011). Diseños agrosilvopastoriles en el contexto de desarrollo de una ganadería sustentable: Apuntes para el conocimiento. *Pastos y Forrajes*, 34(3): 241-258.
- Iglesias, J. M., Simón, L., & Martín, G. J. (2017). Sistemas silvopastoriles en el contexto cubano. *Agroecología*, 12(1): 75-82.
- Jara-Rojas, R., Russy, S., Roco, L., Fleming-Muñoz, D., & Engler, A. (2020). Factors Affecting the Adoption of Agroforestry Practices: Insights from Silvopastoral Systems of Colombia. *Forests*, 11(6): 648. <https://doi.org/10.3390/f11060648>
- Jose, S., & Dollinger, J. (2019). Silvopasture: A sustainable livestock production system. *Agroforestry Systems*, 93(5): 1-9. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00366-8>
- Juárez, M. M., Gamboa, J. a. A., Cordero, W. A., & Maya, E. M. A. (2023). Percepciones y conocimientos de los sistemas silvopastoriles tradicionales en Campeche, México, un enfoque multiespecie. *Sociedad Y Ambiente*, 26: 1-29. <https://doi.org/10.31840/sya.vi26.2748>

- Julihaiti, A., Dong, Y., Zhou, S., Nie, T., Jiang, A., & An, S. (2025). Research on the Response and Driving Mechanisms of Soil Organic Carbon Storage in Different Grassland Types to Enclosure Management. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. <https://doi.org/10.1007/s42729-025-02502-z>
- Kinneen, L., Escobar, M. P., Hernandez, L. M., Thompson, J., Ramos-Pastrana, Y., Córdoba-Suarez, E., Romero-Sanchez, M., Barnes, A., Quintero, M., & Garratt, M. P. D. (2023). Silvopastoral systems benefit invertebrate biodiversity on tropical livestock farms in Caquetá, Colombia. *Agricultural and Forest Entomology*, 26(1): 126-134. <https://doi.org/10.1111/afe.12594>
- Krüger, A. M., De Mello Tavares Lima, P., Ovani, V., Pérez-Marquéz, 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>
- Kumar, A., Vaishnav, R., Deori, C., Timung, B., Roy, S., Pradhan, R., Prakash, R., & Bochalya, R. S. (2025). Silvopastoral systems in India for fodder production and livestock sustainability: A review. *Journal of Experimental Agriculture International*, 47(3): 112-135. <https://doi.org/10.9734/jeai/2025/v47i33321>
- Lecegui, A., Olaizola, A. M., & Varela, E. (2022). Disentangling the role of management practices on ecosystem services delivery in Mediterranean silvopastoral systems: Synergies and trade-offs through expert-based assessment. *Forest Ecology and Management*, 517, 120273. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120273>
- Lemes, A. P., Garcia, A. R., Pezzopane, J. R. M., Brandão, F. Z., Watanabe, Y. F., Cooke, R. F., Sponchiado, M., De Paz, C. C. P., Camplesi, A. C., Binelli, M., & Gimenes, L. U. (2021). Silvopastoral system is an alternative to improve animal welfare and productive performance in meat production systems. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93609-7>
- Liu, P., Cheng, F., Wang, X., Liu, Z., Cheng, L., Tong, Tong, W., Qi, G., Kou, L. (2023). Tree growth as an effect indicator of silvopastoral systems in the low hilly area of western Henan province, China. *Frontiers in Forests and Global Change*, 6, 1244303. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1244303>
- Mackay-Smith, T. H., Burkitt, L., Reid, J., López, I. F., Phillips, C. (2021). A framework for reviewing silvopastoralism: A New Zealand hill country case study. *Land*, 10(12):1386. <https://doi.org/10.3390/land10121386>
- Mackay-Smith, T. H., Spiekermann, R. I., Richards, D. R., Harcourt, N., & Burkitt, L. L. (2024). An integrative approach to silvopastoral system design: perspectives, potentials and principles. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 1-41. <https://doi.org/10.1080/00288233.2023.2298922>
- Márquez-Hernández, R. I., Bobadilla-Hernández, A. R., García-Chávez, F. I., Galindo, F., Vargas-Bello-Pérez, E., & Ángeles-Campos, S. C. (2025). Long-term synergies and trade-offs among ecosystem services for silvopasture management in temperate forests of Chapa de Mota (Mexico). *Agroforestry Systems*, 99(40). <https://doi.org/10.1007/s10457-024-01107-2>
- Mavisoy, H., Rincón, E. C., Vallejos, A. R. R., Narváez-Herrera, J. P., Rosas, L., Del Socorro Guerra Acosta, A., Salcedo, A. a. R., Alban, D. M. A., Chingal, C., De Almeida, A. M., & Figueiro, 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):1-18. <https://doi.org/10.1007/s10457-025-01151-6>
- Mosquera-Losada, M. R., Santiago-Freijanes, J. J., Rois-Díaz, M., Moreno, G., den Herder, M., Aldrey, J. A., Ferreiro-Domínguez, N., Pantera, A., Pisanelli, A., & Rigueiro-Rodríguez, A. (2018). Agroforestry in Europe: A land management policy tool to combat climate change. *Land Use Policy*, 78:603-613. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.06.052>
- Mouratiadou, I., Wezel, A., Kamilia, K., Marchetti, A., Paracchini, M. L., & Bàrberi, P. (2024). The socio-economic performance of agroecology. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 44(2). <https://doi.org/10.1007/s13593-024-00945-9>
- Mupepele, A.C., Keller, M., Dormann, C. F. (2021). European agroforestry has no unequivocal effect on biodiversity: A time-cumulative meta-analysis. *BMC Ecology and Evolution*, 21(193). <https://doi.org/10.1186/s12862-021-01911-9>
- Murgueitio, E., Flores, M. X., Calle, Z., Chará, J., Barahona, R., Molina, C. H., & Uribe, F. (2015). Productividad en sistemas silvopastoriles intensivos en América Latina. En F. Montagnini, E. Somarriba, E. Murgueitio, H. Fassola, & B. Eibl (Eds.), *Sistemas agroforestales: Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales* (59-101 pp.). Serie Técnica, Informe Técnico No. 402. CATIE/CIPAV.
- Opdenbosch, H., & Hansson, H. (2022). Farmers' willingness to adopt silvopastoral systems: investigating cattle producers' compensation claims and attitudes using a contingent valuation approach. *Agroforestry Systems*, 97(1):133-149. <https://doi.org/10.1007/s10457-022-00793-0>



- Pent, G. J., Fike, J. H., Orefice, J. N., Sharrow, S. H., Brauer, D., Clason, T. R. (2021). Silvopasture practices. *ASSA, CSSA and SSSA*, 127-162. <https://doi.org/10.1002/9780891183785.ch6>
- Peri, P. L., Chará, J., Viñoles, C., Bussoni, A., & Cubbage, F. (2024). Current trends in silvopastoral systems. *Agroforestry Systems*, 98(7), 1945–1953. <https://doi.org/10.1007/s10457-024-01093-5>
- Pinto-Ruiz, R., Castillo-Gallegos, E., Ramírez-Ordóñez, J. L., Juárez-Franco, M. F., & Hernández-Romero, D. (2005). Arbustos forrajeros del sur de México: importancia y perspectivas. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 9(2): 15-30.
- Poorter, L., van der Sande, M. T., Amissah, L., Bongers, F., *et al.* (2024). A comprehensive framework for vegetation succession. *Ecosphere*, 15(4): e4794. <https://doi.org/10.1002/ecs2.4794>
- Quevedo-Cascante, M., Dorca-Preda, T., Mogensen, L., Zollitsch, W., Waqas, M. A., Hörtenhuber, S., Geßl, R., Kongsted, A. G., & Knudsen, M. T. (2024). Life cycle assessment and modeling approaches in silvopastoral systems: A case study of egg production integrated in an organic apple orchard. *Journal of Environmental Management*, 372 (23377). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123377>
- Rivera, J. E., Serna, L., Arango, J., Barahona, R., Murgueitio, E., Torres, C. F., & Chará, J. (2023). Silvopastoral systems and their role in climate change mitigation and nationally determined contributions in Latin America. In *Springer eBooks* (25–53 pp.). https://doi.org/10.1007/978-3-031-43063-3_2
- Rivera, S. a. G., Ortiz, M. G. A., Sangache, V. L. C., Andrade, J. a. C., Teran, J. E. L., Lara, J. C. B., Blacio, M. V. F., & Toulkeridis, T. (2025). Silvopastoral Systems: a Sustainable Livestock Farming Strategy for the Ecuadorian Amazon. *Journal of Lifestyle and SDGs Review*, 5(3): e04928. <https://doi.org/10.47172/2965->
- Rodríguez-Serrano, A. C., Lara-Bueno, A., García-Muñiz, J. G., Huerta-Bravo, M., & González-Aricega, C. C. (2021). Evaluación mineral de los componentes del sistema silvopastoril intensivo con *Leucaena leucocephala* en tres épocas del año. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 12(3): 893-909. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i3.5431>
- Röhrig, N., Hassler, M., & Roesler, T. (2020). Capturing the value of ecosystem services from silvopastoral systems: Perceptions from selected Italian farms. *Ecosystem Services*, 44, 101152. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101152>
- Sales-Baptista, E., & Ferraz-De-Oliveira, M. I. (2021). Grazing in silvopastoral systems: multiple solutions for diversified benefits. *Agroforestry Systems*, 95(1): 1-6. <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00581-8>
- Sandino, C. O. A., Barnes, A. P., Sepúlveda, I., Garratt, M. P. D., Thompson, J., & Escobar-Tello, M. P. (2023). Examining factors for the adoption of silvopastoral agroforestry in the Colombian Amazon. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-39038-0>
- Sarabia, L., Solorio, F. J., Ramírez, L., Ayala, A., Aguilar, C., Ku, J., Almeida, C., Cassador, R., Alves, B. J., & Boddey, R. M. (2019). Improving the nitrogen cycling in livestock systems through silvopastoral systems. In *Springer eBooks* (189-213 pp.). https://doi.org/10.1007/978-981-13-8660-2_7
- Saucedo-Urriarte, J. A., Ampuero-Trigoso, G., Pasquel-Barzola, K. K., Quispe-Ccasa, H. A., Chuquimia-Valdez, D. S., & Arévalo-Aranda, Y. G. (2025). Effect of silvopastoral systems with integrated forest species from the Peruvian tropics on the soil chemical properties. *Open Agriculture*, 10(1). <https://doi.org/10.1515/opag-2025-0434>
- Sauer, T. J., Dold, C., Ashworth, A. J., Nieman, C. C., Hernandez-Ramirez, G., Philipp, D., Gennadiev, A. N., & Chendev, Y. G. (2021). Agroforestry practices for soil conservation and resilient agriculture. In *Springer eBooks* (19-48 pp.). https://doi.org/10.1007/978-3-030-80060-4_2
- Schinato, F., Bussoni, A., & Olmos, V. M. (2024). Farmers' preferences and willingness to incorporate silvopastoral systems in Uruguay. *Agroforestry Systems*, 98(5): 1243-1256. <https://doi.org/10.1007/s10457-023-00935-y>
- Seidou, A. A., La Fronde Offoumon, O. T., Worogo, S. H. S., Houaga, I., Yarou, A. K., Azalou, M., Boukari, F. Z. A., Idrissou, Y., Houinato, M., & Traoré, I. A. (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. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1236581>
- Smith, M. M., Bentrup, G., Kellerman, T., MacFarland, K., Straight, R., Ameyaw, L., & Stein, S. (2022). Silvopasture in the USA: A systematic review of natural resource professional and producer-reported benefits, challenges, and management activities. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 326 (107818). <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107818>

- Song, S., Zhu, J., Zheng, T., Tang, Z., Zhang, F., Ji, C., Shen, Z., & Zhu, J. (2020). Long-term grazing exclusion reduces species diversity but increases community heterogeneity in an alpine grassland. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8(66). <https://doi.org/10.3389/fevo.2020.00066>
- Špirić, J., & Ramírez, M. I. (2023). Silvopastoral systems in local livestock landscapes in Hopelchén, Southern Mexico. *Agroforestry Systems*, 98(5): 1123-1137. <https://doi.org/10.1007/s10457-023-00890-8>
- Tranchina, M., Reubens, B., Frey, M., Mele, M., & Mantino, A. (2024). What challenges impede the adoption of agroforestry practices? A global perspective through a systematic literature review. *Agroforestry Systems*, 98(6): 1817-1837. <https://doi.org/10.1007/s10457-024-00993-w>
- Tschopp, M., Ceddia, M. G., & Inguaggiato, C. (2021). Adoption of sustainable silvopastoral practices in Argentina's Gran Chaco: A multilevel approach. *Journal of Arid Environments*, 197 (104657). <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104657>
- Uribe, S. M., Orozco, J. D. C., Restrepo, E. M., Londoño, G. a. C., & Rosales, R. B. (2025). Effects of intensive silvopastoral systems on bovine ingestive behavior in three contrasting tropical regions. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 13(2): 2025011. <https://doi.org/10.31893/jabb.2025011>
- Varela, E., Olaizola, A. M., Blasco, I., Capdevila, C., Lecegui, A., Casasús, I., Bernués, A., & Martín-Collado, D. (2022). Unravelling opportunities, synergies, and barriers for enhancing silvopastoralism in the Mediterranean. *Land Use Policy*, 118 (106140). <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106140>
- Ecological Economics, 200(107544). <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107544>
- Vargas, J., Ungerfeld, E., Muñoz, C., & DiLorenzo, N. (2022). Feeding strategies to mitigate enteric methane emission from ruminants in grassland systems. *Animals*, 12(9): 1132. <https://doi.org/10.3390/ani12091132>
- Vikas, N., & Ranjan, R. (2024). Agroecological approaches to sustainable development. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1405409>
- Yaebiyu, G., Tadesse, T., Birhane, E., Hadgu, K. M., Kiros, S., & Meresa, T. M. (2024). Integrated adoption of controlled grazing and multipurpose fodder trees for enhancing tree cover in dryland farming systems. *Agricultural Systems*, 218 (103967). <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2024.103967>
- Zabala, A., Barrios, L. E. G., & Pascual, U. (2022). From participation to commitment in silvopastoral programmes: Insights from Chiapas, Mexico. *Ecological Economics*, 200(107544). <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107544>
- Zheng, L., Yang, Y., Tilman, D., *et al.* (2024). Effects of plant diversity on productivity strengthen over time due to trait-dependent shifts in species overyielding. *Nature Communications*, 15(1): 2078. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-46355-z>