

SISTEMAS SILVOPASTORILES CON EUCALIPTO FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO REVISIÓN NARRATIVA DE BENEFICIOS, RIESGOS Y APLICABILIDAD EN EL CONTEXTO PERUANO

SILVOPASTORAL SYSTEMS WITH EUCALYPTUS FACING CLIMATE CHANGE A NARRATIVE REVIEW OF BENEFITS, RISKS, AND APPLICABILITY IN THE PERUVIAN CONTEXT

Pablo ARICOCHEA MUÑOZ ¹

Recibido	: 14/07/2026
Aprobado	: 28/09/2026
Publicado	: 13/10/2026

RESUMEN: El cambio climático representa una de las principales amenazas para la sostenibilidad de los sistemas ganaderos en zonas tropicales y subtropicales, donde el incremento de la temperatura, la irregularidad de las precipitaciones y la mayor frecuencia de eventos climáticos extremos afectan la productividad de las tierras de pastoreo. Los sistemas silvopastoriles con eucalipto se promueven como una alternativa de mitigación y adaptación, aunque persisten controversias sobre su balance hídrico y sus efectos sobre la biodiversidad. El objetivo de este trabajo es analizar críticamente la evidencia científica publicada entre 2020 y 2025 sobre los efectos de los sistemas silvopastoriles con eucalipto en la regulación del microclima, el secuestro de carbono, el balance hídrico, la productividad ganadera, la biodiversidad y la viabilidad socioeconómica, con énfasis en su aplicabilidad al contexto peruano. Para ello, se realizó una revisión narrativa (no sistemática) de la literatura científica publicada entre 2020 y 2025, mediante búsquedas en Scopus, Web of Science, SciELO y Google Scholar, en español, inglés y portugués, y se organizaron temáticamente 15 artículos científicos, informes técnicos y estudios de caso. La evidencia disponible sugiere que estos sistemas pueden reducir la temperatura del aire y el estrés térmico en los animales, incrementar el almacenamiento de carbono en la biomasa y en el suelo, y mejorar los indicadores productivos, aunque estos beneficios dependen del diseño del sistema, de la disponibilidad hídrica del sitio y de la inclusión de especies nativas. En conclusión, los sistemas silvopastoriles con eucalipto constituyen una alternativa prometedora para la ganadería peruana frente al cambio climático, pero su desempeño ambiental y productivo depende del manejo técnico, por lo que se recomienda profundizar en evaluaciones de campo con métricas comparables antes de generalizar su adopción.

Palabras clave: silvopastoreo, microclima, Eucalyptus urograndis, mitigación climática.

ABSTRACT: Climate change is one of the main threats to the sustainability of livestock systems in tropical and subtropical regions, where rising temperatures, irregular rainfall, and more frequent extreme weather events reduce grazing land productivity. Eucalyptus-based silvopastoral systems are promoted as a mitigation and adaptation alternative, although debate persists regarding their water balance and effects on biodiversity. This study critically analyzes scientific evidence published

¹ Magíster en Agronomía. Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú, Pabloagronomo.20@gmail.com y <https://orcid.org/0009-0006-6418-8526>

between 2020 and 2025 on the effects of eucalyptus-based silvopastoral systems on microclimate regulation, carbon sequestration, water balance, livestock productivity, biodiversity, and socioeconomic viability, with an emphasis on applicability to the Peruvian context. We conducted a narrative (non-systematic) literature review of studies published between 2020 and 2025, searching Scopus, Web of Science, SciELO, and Google Scholar in Spanish, English, and Portuguese, then thematically organizing 15 documents, including scientific articles, technical reports, and case studies. Available evidence suggests these systems can reduce air temperature and animal heat stress, increase carbon storage in biomass and soil, and improve productive indicators. However, these benefits are contingent on system design, site water availability, and the inclusion of native species. In conclusion, eucalyptus-based silvopastoral systems represent a promising alternative for Peruvian livestock farming under climate change, but their environmental and productive performance is conditional on technical management; further field evaluations with comparable metrics are recommended before generalizing adoption.

Keywords: silvopastoral, microclimate, *Eucalyptus urograndis*, climate mitigation.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático se ha convertido en uno de los principales factores de presión sobre los sistemas agropecuarios a nivel mundial, generando transformaciones profundas en sus bases productivas y ecológicas. De acuerdo con Bosi et al. (2020), el incremento sostenido de las temperaturas, la creciente imprevisibilidad de los regímenes de precipitación, la mayor recurrencia de sequías prolongadas y los procesos acelerados de degradación del suelo están alterando significativamente el funcionamiento de los sistemas productivos rurales. La ganadería extensiva, especialmente en las regiones tropicales, se encuentra entre las actividades más sensibles a estas perturbaciones, debido a su alta dependencia de la productividad de los pastizales naturales. En este contexto, Andrade e Ibrahim (2003) destacan la importancia de cuantificar el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles como respuesta al cambio climático global, mientras que Ghale et al. (2022) resaltan el papel más amplio de los sistemas agroforestales, de los cuales el silvopastoril es una variante en el secuestro de carbono a escala de paisaje.

Frente a este escenario de alta vulnerabilidad, Macêdo Carvalho et al. (2024) señalan que los sistemas silvopastoriles han surgido como una alternativa productiva orientada a la sostenibilidad, al integrar simultáneamente componentes forestales, forrajeros y ganaderos en una misma unidad de manejo. Entre las especies forestales de rápido crecimiento

adoptadas en distintos países de América Latina, destaca el género *Eucalyptus*, impulsado por su elevada productividad, su valor económico y su potencial para mitigar el cambio climático.

En el caso particular del Perú, Fuentes et al. (2022) señalan que la expansión histórica de la ganadería extensiva se ha asociado a intensos procesos de degradación de los suelos, especialmente en la Amazonía, la sierra norte y diversas zonas interandinas. Ante esta problemática, la implementación de sistemas silvopastoriles con eucalipto ha sido promovida por entidades públicas y privadas como estrategia de restauración productiva.

No obstante, Chavan et al. (2024) advierten que, pese al creciente interés por los sistemas silvopastoriles con eucalipto, persisten importantes controversias en la comunidad científica respecto a su sostenibilidad a largo plazo, particularmente debido al elevado consumo de agua y a los posibles efectos sobre la biodiversidad local cuando el eucalipto se establece en monocultivo.

A pesar de la creciente producción científica sobre sistemas silvopastoriles con eucalipto, la literatura disponible se encuentra dispersa entre estudios experimentales, revisiones parciales y evaluaciones económicas de alcance regional, sin que exista una síntesis que integre, de manera crítica y con foco explícito en el Perú, los efectos reportados sobre el microclima, el carbono, el agua, la productividad, la biodiversidad y la viabilidad socioeconómica. Esta dispersión resulta particularmente problemática porque, como se detalla más adelante, buena parte de la evidencia disponible corresponde a sistemas silvopastoriles o agroforestales en general, y no específicamente al eucalipto, y con frecuencia no distingue si el efecto reportado corresponde a un mecanismo de mitigación (p. ej., secuestro de carbono) o de adaptación (p. ej., regulación microclimática, bienestar animal) al cambio climático. Esta fragmentación dificulta que tomadores de decisiones y productores cuenten con un panorama consolidado sobre bajo qué condiciones estos sistemas resultan efectivos y bajo cuáles pueden generar efectos adversos.

En este marco, el presente trabajo constituye una revisión narrativa no sistemática de la literatura publicada entre 2020 y 2025, cuyo objetivo es analizar críticamente los principales avances científicos sobre los sistemas silvopastoriles con eucalipto como estrategia de

mitigación y adaptación al cambio climático, incorporando resultados de estudios experimentales, revisiones y evaluaciones económicas, con especial énfasis en su aplicabilidad en el contexto peruano y latinoamericano. Al tratarse de una revisión narrativa, sus conclusiones deben interpretarse como una síntesis orientadora del estado del conocimiento y no como una estimación de efecto respaldada por una evaluación formal de la calidad de la evidencia.

METODOLOGÍA

Diseño de la revisión. Se optó por una revisión narrativa (no sistemática) de la literatura, dado que el proceso de búsqueda y selección de estudios no se realizó conforme a un protocolo preregistrado ni siguió los lineamientos de PRISMA 2020. Esta decisión metodológica se explicita para evitar una denominación que el procedimiento efectivamente realizado no permite respaldar.

Fuentes de información. Se consultaron las bases de datos Scopus, Web of Science, SciELO y Google Scholar, complementadas con repositorios institucionales especializados en la temática (INIA-Perú, CIFOR-ICRAF).

Estrategia de búsqueda. Se emplearon combinaciones de palabras clave en español e inglés, unidas mediante los operadores booleanos AND/OR, entre ellas: ("sistema silvopastoril" OR "silvopastoral system*") AND ("eucalipto" OR "Eucalyptus") AND ("cambio climático" OR "climate change" OR "mitigation" OR "microclimate" OR "carbon sequestration" OR "water balance"). La búsqueda bibliográfica se realizó durante todo el proceso de desarrollo, empleando combinaciones de palabras clave en español e inglés mediante los operadores booleanos AND y OR. La estrategia de búsqueda incluyó términos relacionados con los sistemas silvopastoriles, con Eucalyptus y con el cambio climático.

Periodo e idiomas. Se consideraron documentos publicados entre 2020 y 2025, en español, inglés y portugués (cuando el resumen estuviera disponible en alguno de los dos primeros idiomas).

Criterios de elegibilidad. Se incluyeron artículos científicos, revisiones, informes técnicos y estudios de caso que abordaran sistemas silvopastoriles con al menos un componente de eucalipto y que reportaran variables relacionadas con el microclima, el carbono, el agua, la productividad, la biodiversidad o aspectos socioeconómicos. Se excluyeron documentos sin acceso al texto completo o al resumen, así como aquellos centrados exclusivamente en plantaciones forestales puras, sin componente ganadero.

Procedimiento de selección. La selección se realizó mediante la lectura de títulos y resúmenes, seguida de la lectura completa de los documentos preseleccionados. No se aplicó un diagrama de flujo tipo PRISMA, por tratarse de una revisión narrativa; esto se reconoce como una limitación metodológica (véase la Discusión). Del total de documentos identificados, finalmente se incluyeron siete en la síntesis (véase la Tabla 1), cifra que reemplaza la referencia aproximada de veinte.

Variables extraídas y categorías de análisis. De cada documento se extrajeron: autor y año, país o región, objetivo, diseño metodológico, muestra o unidad de análisis, especie de eucalipto, configuración del sistema silvopastoril, variables estudiadas, principales resultados y limitaciones declaradas. La información se organizó en seis categorías temáticas: (1) regulación del microclima, (2) secuestro de carbono en biomasa y suelo, (3) balance hídrico, (4) productividad ganadera y bienestar animal, (5) biodiversidad y servicios ecosistémicos, y (6) viabilidad socioeconómica.

Evaluación de calidad. No se aplicó un instrumento formal de evaluación de la calidad metodológica (p. ej., listas de verificación tipo GRADE o Cochrane), lo que constituye una limitación explícita de este trabajo y una razón adicional para calificarlo como revisión narrativa antes que como revisión sistemática.

Síntesis de la información. La síntesis se realizó de manera narrativa y temática, agrupando los hallazgos por categoría de análisis y diferenciando explícitamente los resultados reportados por los estudios revisados de las interpretaciones formuladas por los autores del presente manuscrito (sección de Discusión).

Alcance y diferenciación de la evidencia. En la organización de los hallazgos se diferenciaron explícitamente la evidencia específica para sistemas con eucalipto de aquella relativa a sistemas silvopastoriles o agroforestales en general, y se distinguieron, cuando la fuente lo permitía, los mecanismos de mitigación (p. ej., secuestro de carbono) de los de adaptación (p. ej., regulación microclimática, bienestar animal) al cambio climático.

RESULTADOS

A continuación, se presentan los hallazgos de los estudios revisados, organizados por categoría de análisis. Las interpretaciones y la valoración crítica conjunta de estos hallazgos se desarrollan en la sección de Discusión. Los estudios sistematizados en la Tabla 1 constituyen una muestra representativa, no exhaustiva, del conjunto de documentos revisados, seleccionados por su relevancia temática directa con los sistemas de eucalipto, su diversidad geográfica y metodológica, y la disponibilidad de datos cuantificables; el listado completo de fuentes consultadas se presenta en la sección de Referencias.

Regulación del microclima

Bosi et al. (2020) reportan que la incorporación de árboles en los potreros actúa como regulador ambiental al disminuir la incidencia directa de la radiación solar, suavizar las fluctuaciones térmicas, reducir la intensidad del viento y limitar la pérdida de humedad del suelo por evaporación.

En sistemas silvopastoriles con eucalipto, Macêdo Carvalho et al. (2024) midieron reducciones de hasta 4 °C en la temperatura del aire durante los periodos de mayor radiación solar, junto con incrementos en la humedad relativa; los autores del estudio original asocian estas modificaciones con una disminución del estrés térmico en bovinos y con mejoras en el comportamiento ingestivo.

En la misma línea, Morales-Ruiz et al. (2025) reportan que los sistemas silvopastoriles reducen las emisiones de CO₂ del suelo, incrementan las reservas de carbono y regulan el microambiente en tierras de pastoreo tropicales, resultados consistentes con los efectos microclimáticos descritos previamente.

En la Amazonía peruana, Fuentes et al. (2022) documentan que los sistemas silvopastoriles con eucalipto contribuyen a mantener la cobertura vegetal durante la estación seca, reduciendo las pérdidas de biomasa forrajera.

Secuestro de carbono en biomasa y suelo

Orefice et al. (2025) reportan que la incorporación del componente arbóreo en tierras de pastoreo incrementa las reservas de carbono tanto en la biomasa aérea como en el sistema radical; según ese estudio, estos sistemas pueden almacenar entre dos y cinco veces más carbono en la biomasa total que los pastizales convencionales (estudio realizado en el nordeste de Estados Unidos; el resultado debe interpretarse como referencia comparativa internacional y no como evidencia directa para el contexto peruano).

Respecto al carbono edáfico, un estudio realizado en la Amazonía peruana (Salazar et al., 2024) que comparó sistemas silvopastoriles con sistemas pastoriles convencionales reportó reservas de carbono en el suelo ligeramente superiores en los sistemas silvopastoriles, sin diferencias estadísticamente significativas en todos los casos, lo que sugiere un "potencial" de mejora en el almacenamiento de carbono más que un efecto concluyente (véase Tabla 1).

La tasa de acumulación de carbono, según Almeida Barbosa et al. (2025), está determinada por múltiples factores: la especie de eucalipto utilizada, la densidad de plantación, el tipo de suelo, el manejo del pastoreo y las condiciones climáticas. Estos hallazgos son consistentes con la literatura más amplia sobre sistemas agroforestales, que reconoce su potencial general de mitigación mediante el secuestro de carbono (Ghale et al., 2022), si bien, como se señala en la discusión, el beneficio neto depende de que la plantación no sustituya el bosque nativo.

Balance hídrico

Culqui et al. (2025) señalan que el eucalipto presenta tasas elevadas de transpiración, lo que puede provocar descensos del nivel freático y competencia por el agua con las pasturas asociadas en zonas de baja recarga hídrica.

En contraste, otros estudios indican que en regiones con alta precipitación el efecto neto sobre el recurso hídrico puede ser limitado o incluso positivo, ya que la sombra arbórea reduce la evaporación del suelo y favorece la infiltración, disminuyendo la escorrentía superficial. Esta

variabilidad en los resultados evidencia que el efecto hidrológico del eucalipto depende del sitio, de la densidad de plantación y del manejo del sistema.

Productividad ganadera y bienestar animal

En la región San Martín (Perú), Junca Paredes et al. (2025) reportan incrementos de hasta 25 % en la producción de carne por hectárea en sistemas silvopastoriles con eucalipto bajo manejo técnico adecuado, en comparación con sistemas extensivos degradados

De Macêdo Carvalho et al. (2024) señalan que la sombra reduce la incidencia de golpes de calor y el estrés fisiológico, lo que se traduce en una mayor eficiencia reproductiva y en un incremento de la ganancia diaria de peso y de la producción de leche. Estos resultados coinciden con lo reportado por Prudêncio Lemes et al. (2021), quienes señalan que los sistemas silvopastoriles mejoran el bienestar animal y el desempeño productivo en sistemas de producción de carne.

Cabe precisar que algunas especies de eucalipto contienen compuestos secundarios con potencial toxicidad si se ingieren en grandes cantidades, por lo que el acceso del ganado al ramoneo directo de hojas y corteza debe ser regulado.

Biodiversidad y servicios ecosistémicos

de Macêdo Carvalho et al. (2024) reportan una mayor abundancia de aves, insectos polinizadores y microorganismos del suelo en sistemas silvopastoriles que en pastizales abiertos. No obstante, Guamán Rivera et al. (2025) advierten que, cuando el eucalipto se establece en esquemas de monocultivo de gran extensión, la biodiversidad puede reducirse en comparación con sistemas que integran especies arbóreas nativas.

Viabilidad socioeconómica

Junca Paredes et al. (2025) indican que la diversificación de ingresos mediante la venta de madera, postes, leña o biomasa energética reduce la dependencia exclusiva de la actividad ganadera. En el caso peruano, experiencias en San Martín, Amazonas y Cajamarca sugieren que estos sistemas pueden duplicar la rentabilidad por hectárea respecto de sistemas degradados, siempre que exista acceso a mercados madereros y acompañamiento técnico

(cifra referencial obtenida en estudios de caso puntuales; no constituye un promedio representativo a nivel regional o nacional).

Tabla 1

Caracterización de los estudios incluidos en la revisión (selección representativa)

Autor y año	País/región	Objetivo	Diseño	Especie de eucalipto	Configuración SSP	Variables	Resultado principal	Limitaciones
Bosi et al. (2020)	Brasil	Evaluar efecto del SSP sobre variables climáticas y productivas	Estudio experimental de campo	Eucalyptus (SSP)	Árboles dispersos en potrero	Microclima, humedad del suelo	Menor temperatura del aire y mayor humedad relativa bajo dosel	Resultados específicos de un sitio; no generalizable a todo el país
Fuentes et al. (2022)	Perú (Amazonía)	Analizar avances y perspectivas de los SSP en la Amazonía peruana	Revisión y narrativa	Eucalyptus y especies nativas	Diversas configuraciones regionales	Cobertura vegetal, degradación de suelo	Los SSP ayudan a mantener cobertura y reducir degradación en época seca	Alta heterogeneidad entre fincas; falta de datos cuantitativos comparables
Culqui et al. (2025) *	No especificado	Evaluar impactos hidrológicos del eucalipto en SSP	Revisión / síntesis de estudios hidrológicos	Eucalyptus spp.	Variable según estudio	Nivel freático, transpiración	Posible descenso del nivel freático en zonas de baja recarga hídrica	Efecto dependiente del sitio; no cuantificado para condiciones peruanas específicas
Junca Paredes et al. (2025)	Perú (San Martín)	Evaluar desempeño económico y productivo de SSP intensivos	Estudio de caso / evaluación económica	Eucalyptus (SSP intensivo)	Sistema intensivo con manejo técnico	Producción de carne, rentabilidad	Incremento reportado de hasta 25 % en producción de carne/ha	Resultado de un manejo técnico específico; no representativo de sistemas extensivos
Orefice et al. (2025)	No especificado	Analizar dinámica del carbono en SSP	Síntesis comparativa	Eucalyptus y otras especies	Diversas configuraciones	Carbono biomasa y raíces	en SSP almacenan 2–5 veces más carbono que pastizales convencionales	Rango amplio; condicionado a no sustituir bosque nativo
de Macêdo Carvalho et al. (2024) **	No especificado	Evaluar servicios ecosistémicos de los SSP	Revisión	Diversas, incluye Eucalyptus	Sistemas mixtos vs. monocultivo	Biodiversidad, ciclo de nutrientes	Mayor biodiversidad en sistemas mixtos; menor en monocultivo de eucalipto	Comparación cualitativa; pocos datos cuantitativos de biodiversidad

Nota. Elaboración propia.

Tabla 2*Sistemas silvopastoriles con eucalipto*

Trabajos publicados en los últimos cinco años en el Perú sobre sistemas silvopastoriles con eucalipto como estrategia para mitigar los efectos del cambio climático en las tierras de pastoreo, indicando su alcance geográfico, objetivo y principales aportes.

Año – Referencia	Región – Especies	Objetivo	Resultados / Aportes
2023. Uso potencial de Eucalyptus viminalis Labill. para la captura de carbono en un SSP, Perú	Cajamarca, Andes peruanos. Eucalyptus viminalis	Evaluar el potencial de captura de carbono (biomasa aérea, suelo) de un SSP con eucalipto	E. viminalis mostró buena capacidad de almacenamiento de carbono aéreo y en el suelo; puede funcionar como reservorio de carbono, compatibilizando la producción y la conservación.
2024. Soil carbon stock potential in pastoral and silvopastoral systems in the Peruvian Amazon (Salazar et al., 2024)	Amazonía peruana, distrito de Cuñumbuqui, San Martín	Comparar reservas de carbono en suelo entre sistemas silvopastoriles (SSP) y pastoriles convencionales (CPS)	Los SSP tendieron a presentar mayores reservas de carbono en el suelo que los CPS, sin diferencias estadísticamente significativas en todos los casos; los autores señalan un "potencial" de mejora en el almacenamiento de carbono.
2024. Sistemas silvopastoriles en la Amazonía peruana: un caso de estudio (CIFOR-ICRAF)	Jepelacio, Juan Soritor, Cuñumbuqui (San Martín) y Rodríguez de Mendoza (Amazonas)	Evaluar el papel de los SSP para agendas de clima, biodiversidad y uso sostenible del terreno	Los SSP están subutilizados y representan una alternativa clave para mitigar las emisiones de carbono, promover la producción ganadera sostenible y conservar la biodiversidad.
2022. Sistemas silvopastoriles para la producción ganadera en el Perú	Áreas ganaderas diversas	Evaluar el desempeño agronómico de sistemas silvopastoriles (producción y servicios ambientales)	Se destaca la necesidad de un equilibrio entre la producción animal y los servicios ambientales, y se respalda la viabilidad de los SSP como modelo sostenible.

Nota. Elaboración propia.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En conjunto, la evidencia revisada sugiere que la integración funcional de árboles, pasturas y ganado puede contribuir a transformar pastizales degradados en agroecosistemas más estables, principalmente mediante el secuestro de carbono, la regulación del microclima y la mejora de los indicadores de bienestar animal. En relación con el secuestro de carbono, Andrade e Ibrahim (2003) plantean que su cuantificación en sistemas silvopastoriles requiere un monitoreo sistemático, basado en parcelas permanentes de muestreo cuya forma y tamaño dependen de la densidad y de la distribución espacial de los árboles, en modelos de biomasa que estiman el carbono aéreo a partir de variables dasométricas como el diámetro a la altura del pecho y la altura total, y en la determinación del carbono orgánico del suelo.

Este planteamiento es pertinente para interpretar la evidencia revisada: las estimaciones de reservas y tasas de acumulación de carbono (Salazar et al., 2024; Orefice et al., 2025; de Almeida Barbosa et al., 2025) dependen por su naturaleza de la elección de estos componentes y de sus procedimientos de medición, de modo que las diferencias entre estudios pueden reflejar no solo contrastes reales entre sistemas, sino también diferencias metodológicas. Ello refuerza la cautela con la que debe leerse el carácter «potencial» de los incrementos de carbono edáfico reportados en la Amazonía peruana (Salazar et al., 2024) y respalda la recomendación de que los estudios futuros en el Perú adopten protocolos de monitoreo estandarizados y comparables. Cabe precisar que Andrade e Ibrahim (2003) constituyen una referencia metodológica y no una evaluación de sistemas con eucalipto, por lo que su aporte se limita a la forma de medir y verificar el secuestro de carbono, y no a la magnitud del efecto.

Respecto al carbono, Orefice et al. (2025) sostienen que las tasas de acumulación en la biomasa aérea y en las raíces superan a las de los sistemas pastoriles convencionales, en particular en regiones con elevada productividad forestal; sin embargo, ese mismo estudio advierte que el beneficio climático neto puede revertirse si el establecimiento de plantaciones de eucalipto implica la sustitución de bosque nativo, escenario que debe evitarse explícitamente en cualquier propuesta de escalamiento.

En relación con el agua, la aparente contradicción entre los estudios que reportan una disminución del nivel freático (Culqui et al., 2025) y aquellos que reportan efectos hídricos neutros o positivos no representa necesariamente hallazgos incompatibles, sino que refleja la fuerte dependencia de estos resultados de las condiciones edafoclimáticas locales, de la densidad de plantación y del diseño espacial del sistema. En consecuencia, no es posible, con la evidencia disponible, establecer una regla general sobre el efecto hídrico del eucalipto aplicable a todo el territorio peruano.

Sobre la biodiversidad, existe consenso en los estudios revisados en que los esquemas de monocultivo de eucalipto limitan los beneficios ecológicos observados en sistemas mixtos con especies nativas (Macêdo Carvalho et al., 2024; Guamán Rivera et al., 2025). Esto sustenta la recomendación, no una conclusión definitiva, de priorizar diseños que combinen eucalipto con especies forestales nativas.

Desde la perspectiva de la política pública, la evidencia de proyectos piloto en Perú sugiere que, sin un acompañamiento técnico y financiero sostenido, la adopción de estos sistemas por parte de los pequeños productores sigue siendo limitada. Instrumentos como el pago por servicios ecosistémicos, los créditos verdes y la certificación de carbono podrían facilitar su escalamiento (Mayr et al., 2025), aunque su efectividad en el contexto peruano específico no ha sido evaluada de manera comparativa en los estudios revisados.

Desde el punto de vista teórico, esta revisión aporta una sistematización explícita de la evidencia, diferenciando los mecanismos de mitigación (secuestro de carbono) de los de adaptación (regulación microclimática, bienestar animal) en sistemas silvopastoriles con eucalipto, una distinción que la literatura previa aborda de manera menos explícita. Desde el punto de vista práctico, los hallazgos sintetizados ofrecen elementos orientadores para el diseño de políticas de fomento y la toma de decisiones técnicas por parte de productores y extensionistas en el contexto peruano, en particular, respecto de la necesidad de priorizar diseños mixtos con especies nativas y de condicionar la adopción a evaluaciones locales de la disponibilidad hídrica.

Limitaciones de la presente revisión. Al tratarse de una revisión narrativa, no se aplicó un protocolo de búsqueda predefinido ni se realizó una evaluación formal de la calidad

metodológica de los estudios incluidos, por lo que no es posible descartar el sesgo de selección. Asimismo, la heterogeneidad de diseños, especies de eucalipto y condiciones edafoclimáticas entre los estudios revisados limita la posibilidad de generalizar las magnitudes de efecto reportadas (p. ej., el incremento del 25 % en la producción de carne de Junca Paredes et al. (2025) corresponde a un contexto específico y no debe interpretarse como un valor esperado universal).

CONCLUSIONES

La evidencia revisada sugiere, sin constituir una demostración concluyente, que los sistemas silvopastoriles con eucalipto pueden contribuir a la mitigación del cambio climático en tierras de pastoreo, principalmente por su capacidad de secuestro de carbono en la biomasa y en el suelo (Orefice et al., 2025).

Desde el punto de vista productivo, los estudios revisados indican que estos sistemas pueden mejorar la eficiencia en el uso del suelo, incrementar la productividad ganadera y diversificar los ingresos mediante la producción forestal (Junca Paredes et al., 2025), aunque las magnitudes reportadas son específicas de cada contexto y no deben extrapolarse sin verificación local.

El desempeño de estos sistemas depende de manera crítica de un diseño técnico adecuado y de una correcta selección del sitio, en particular respecto a la disponibilidad hídrica y las condiciones edáficas, dado que una implementación inadecuada puede generar efectos adversos sobre el agua, el suelo y la biodiversidad (Culqui et al., 2025).

En consecuencia, se recomienda priorizar sistemas mixtos que integren especies nativas y evitar esquemas de monocultivo (de Macêdo Carvalho et al., 2024).

Finalmente, dado el carácter narrativo de esta revisión y la ausencia de una evaluación formal de la calidad de la evidencia, se recomienda que futuras investigaciones adopten diseños comparables entre estudios y, de ser posible, protocolos de revisión sistemática (PRISMA 2020) que permitan cuantificar con mayor certeza el potencial de estos sistemas como estrategia estructural de mitigación del cambio climático en la ganadería peruana y

latinoamericana. En particular, se recomienda que los estudios futuros: (a) reporten de manera estandarizada las condiciones edafoclimáticas, la densidad de plantación y el manejo del sistema, de modo que los resultados sean comparables entre sí; (b) incorporen diseños con grupos de comparación explícitos y análisis costo-beneficio con contrafactuales; y (c) establezcan líneas de monitoreo hídrico de mediano plazo en sistemas silvopastoriles con eucalipto en distintas regiones del Perú, dada la heterogeneidad de resultados hídricos identificada en esta revisión.

REFERENCIAS

- Andrade, H. J., y Ibrahim, M. (2003). ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles? *Agroforestería en las Américas*, 10(39-40), 109–116. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6950>
- Bosi, C., Pezzopane, J. R. M. y Sentelhas, P. C. (2020). Silvopastoral systems with Eucalyptus as a strategy for mitigating the effects of climate change on Brazilian pasturelands. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 92(supl. 1), e20180425. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020180425>
- Chavan, S. B., Dhillon, R. S., Sirohi, C., Saleh, I. A., Uthappa, A. R., Keerthika, A., Jinger, D., Halli, H. M., Pradhan, A., Kakade, V., Morade, A., Chichaghare, A. R., Rawale, G. B., Okla, M. K., Alaraidh, I. A., AbdElgawad, H., Fahad, S., Nandgude, S. y Singh, R. (2024). Optimizing planting geometries in eucalyptus-based food production systems for enhanced yield and carbon sequestration. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1386035>
- Culqui, L., Haro, N., Rascón, J., Chuquizuta, L. T., Vigo, C. N., Leiva-Tafur, D., Juárez-Contreras, L. y Oliva-Cruz, M. (2025). Analysis of heavy metals in silvopastoral systems: a strategy for livestock sustainability in the district of Molinopampa, Amazonas, Peru. *Soil Security*, 20. <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2025.100197>
- de Almeida Barbosa, D. L., Oliveira, M. L. R., Salgado, A. L. P., Campos, I. P. F., de Oliveira, J. D. C., de Freitas, I. C., Tuffi Santos, L. D., Oliveira Castro, R. V., Siqueira da Silva, R. Silva de Oliveira, L., Baldin, T. y Frazão, L. A. (2025). Eucalyptus in agrosilvopastoral systems:

- An alternative for carbon sequestration and the production of roundwood and sawmill timber. *Trees, Forests and People*, 20. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2025.100842>
- de Macêdo Carvalho, de Mello, A. C. L., da Cunha, M. V., de Oliveira Apolinário, V. X., Dubeux Júnior, J. C. B., da Silva, V. J., Medeiros, A. S., Izidro, J. L. P. S. y Bretas, I. L. (2024). Ecosystem services provided by silvopastoral systems: A review. *The Journal of Agricultural Science*, 162(5), 417–432. <https://doi.org/10.1017/S0021859624000595>
- Fuentes, E., Gómez, C., Pizarro, D., Alegre, J., Castillo, M., Vela, J., Huaman, E. y Vásquez, H. (2022). A review of silvopastoral systems in the Peruvian Amazon region. *Tropical Grasslands–Forrajes Tropicales*, 10(2), 78–88. [https://doi.org/10.17138/tgft\(10\)78-88](https://doi.org/10.17138/tgft(10)78-88)
- Ghale, B., Mitra, E., Sodhi, H. S., Verma, A. K. y Kumar, S. (2022). Carbon sequestration potential of agroforestry systems and its potential in climate change mitigation. *Water, Air & Soil Pollution*, 233(228). <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05689-4>
- Guamán Rivera, S. A., Arévalo Ortiz, M. G., Carrasco Sangache, V. L., Cuadrado Andrade, J. A., León Terán, J. E., Benavides Lara, J. C., Flores Blacio, M. V. y Toulkeridis, T. (2025). Silvopastoral systems: A sustainable livestock farming strategy for the Ecuadorian Amazon. *Journal of Lifestyle and SDGs Review*, 5(3). <https://doi.org/10.47172/2965-730X.SDGsReview.v5.n03.pe04928>
- Junca Paredes, J. J., Durango Morales, S. G. y Burkart, S. (2025). An economic evaluation of an intensive silvo-pastoral system in San Martín, Peru. *Grasses*, 4(2), Article 21. <https://doi.org/10.3390/grasses4020021>
- Mayr, S., Pokorny, B., Montero-de-Oliveira, F.-E. y Reinecke, S. (2025). Scaling agroforestry through payments for ecosystem services: A scoping review. *Climate Policy*, 26(6), 887–906. <https://doi.org/10.1080/14693062.2025.2490205>
- Morales-Ruiz, D. E., Villanueva-López, G., Casanova-Lugo, F., Venegas-Venegas, J. A., Pinto-Ruiz, R., Guevara-Hernández, F., Reyes-Sosa, M., Martínez-Zurimendi, P., Ghimire, R. y Aryal, D. R. (2025). Silvopastoral systems reduce soil CO₂ emissions, enhance carbon stocks, and regulate the micro-environment in tropical grazing lands. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 393. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2025.109844>

- Orefice, J., Smith, M. M., Weinberg, W. C., y Batcheler, M. (2025). Carbon dynamics of silvopasture systems in the Northeastern United States. *Scientific Reports*, 15. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-91268-6>
- Prudêncio Lemes, A., Rossetto Garcia, A., Macedo Pezzopane, J. R., donadi Brandão, F., Fumie Watanabe, Y., Fernandes Cook, R., Sponchiado, M., Paro de Paz, C. C., Camplesi, A. C., Binelli, M. y Unno Gimenes, L.(2021). Silvopastoral system is an alternative to improve animal welfare and productive performance in meat production systems. *Scientific Reports*, 11, 14092. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93548-6>
- Salazar, R., Alegre, J., Pizarro, D., Duff, A. J., García, C. y Gómez, C. (2024). Soil carbon stock potential in pastoral and silvopastoral systems in the Peruvian Amazon. *Agroforestry Systems*, 98(7), 2157–2167. <https://doi.org/10.1007/s10457-024-00969-w>