

Valor económico y ambiental de los servicios ecosistémicos en sistemas agroforestales con café en Latinoamérica

Economic and environmental value of ecosystem services in agroforestry systems with coffee in Latin America

Peter Robert Vera Maldonado¹, José Newthon Pico Mendoza², Elvira Rodríguez Ríos²

¹*Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí - Manuel Félix López, Ecuador*

²*Universidad Técnica de Manabí, Ecuador*

Autor de correspondencia: prvera@espam.edu.ec

Recibido: 13/02/2026. Aceptado: 12/06/2026.

Publicado el 3 de julio de 2026.

Resumen

La investigación analiza la valoración económica de los servicios ecosistémicos generados por los sistemas agroforestales con café en Latinoamérica, reconociendo su importancia como alternativa productiva sostenible frente a los sistemas intensivos los cuales han provocado pérdida de biodiversidad, degradación del suelo y aumento de emisiones. El estudio tuvo como objetivo general examinar, a partir de la literatura científica, el valor económico y ambiental de servicios como el secuestro de carbono, la conservación de la biodiversidad, la polinización, la regulación hídrica y la conservación de suelos, y su contribución al desarrollo rural sostenible. La metodología consistió en una revisión sistemática de la literatura de artículos científicos indexados en bases de datos, priorizando estudios empíricos de países productores de café: Perú, Colombia, Brasil, México, Costa Rica, Ecuador y Nicaragua. Los sistemas agroforestales, en comparación con otros tipos de sistemas de producción, ganan en almacenamiento de carbono en la biomasa y en el suelo, aumentan el carbono orgánico del suelo y proveen hábitat a la biodiversidad, sin afectar la productividad de los cultivos. Los estudios revisados describen los beneficios económicos de la polinización y el pago por servicios medioambientales, lo que refuerza la sostenibilidad financiera de estos sistemas. Los sistemas agroforestales con café, en la gran mayoría de los casos, representan una oportunidad para la práctica de la producción, la conservación de la naturaleza y la apreciación de los servicios medioambientales que proporcionan los ecosistemas. Esto justifica su inclusión en los sistemas de políticas públicas y en los planes de desarrollo rural sostenible.

Palabras clave: secuestro de carbono, biodiversidad, sostenibilidad ambiental, producción agrícola, valoración económica.

Abstract

This research analyzes the economic valuation of ecosystem services generated by agroforestry systems with coffee in Latin America, recognizing their importance as a sustainable production alternative to intensive, which have led to biodiversity loss, soil degradation, and increased emissions. The study's general objective was to examine, based on scientific literature, the economic and environmental value of services such as carbon sequestration, biodiversity conservation, pollination, water regulation, and soil conservation, and their contribution to sustainable rural development. The methodology consisted of a systematic literature review of scientific articles indexed in databases, prioritizing empirical studies from coffee-producing countries: Peru, Colombia, Brazil, Mexico, Costa Rica, Ecuador, and Nicaragua. Agroforestry systems, compared to other types of production systems, increase carbon storage in biomass and soil, enhance soil organic carbon, and provide habitat for biodiversity without affecting crop productivity. The reviewed studies describe the economic benefits of pollination and payments for environmental services, reinforcing the financial sustainability of these systems. Agroforestry systems with coffee, in the vast majority of cases, represent an opportunity for production practices, nature conservation, and appreciation of the environmental services provided by ecosystems. This justifies their inclusion in public policy systems and sustainable rural development plans.

Keywords: carbon sequestration, biodiversity, environmental sustainability, agricultural production, economic valuation.

Introducción

El café (*Coffea arabica* L.) ocupa una posición dominante entre los cultivos producidos en los trópicos, y su cultivo depende de sus condiciones ecológicas (Flores-Ortiz *et al.*, 2025). Con la intensidad moderada de la práctica agrícola, puede provocar deforestación, pérdidas de biodiversidad, degradación del suelo y un aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (Cerdeira *et al.*, 2020). En respuesta, los sistemas agroforestales buscan combinar la producción con la captura de carbono, regular el ciclo del agua, proteger el suelo y promover la biodiversidad, alineándose así con los objetivos de sostenibilidad (Briceño Salas y Torres, 2024).

A lo largo de la historia de la agroforestería en América Latina, los sistemas cafeteros agroforestales han formado parte del paisaje rural de algunos países de la región, particularmente Brasil, Colombia, Perú, México y Costa Rica (Ruiz *et al.*, 2020). La evidencia disponible muestra que estos sistemas, incluso en su existencia y funcionalidad, no han impactado la producción agrícola, además de conservar la biodiversidad proporcionando hábitat y sinergia entre la provisión de servicios ecosistémicos y la producción agrícola, almacenando a veces tanto o más carbono en biomasa y suelo que los sistemas de uso del suelo de igual o similar categoría (Delgado-Vargas y Franco, 2024; Vallejos-Torres *et al.*, 2024).

Salgado *et al.* (2025) afirman que, aunque existen beneficios en este sentido, en muchas partes de América Latina se siguen tomando decisiones agrícolas basándose en criterios productivos a corto plazo, favoreciendo sistemas a pleno sol. La escasa integración de los servicios ecosistémicos en la planificación económica, y la ausencia de estimaciones económicas claras de polinización, secuestro de carbono o control de erosión, limitan su reconocimiento como activos productivos y reducen los argumentos económicos para adoptar sistemas agroforestales (Jezeer *et al.*, 2019).

En respuesta a esta limitación, la valoración económica de los servicios ecosistémicos se convierte en una herramienta clave para visibilizar la verdadera contribución de los sistemas agroforestales con el café, convirtiendo los beneficios ecológicos en términos monetarios que pueden compararse con la renta agrícola tradicional (Galeana-Pizaña y Manson, 2025). Las investigaciones realizadas en América Latina muestran que servicios como la polinización pueden tener un impacto directo en la calidad del grano producido y en los ingresos del productor, mientras que, en el contexto del pago por servicios medioambientales, se han obtenido resultados positivos en la conservación del capital natural cuando se integra con asistencia técnica y acceso al mercado (Pereira Machado *et al.*, 2024). Estas contribuciones refuerzan la viabilidad económica de la sostenibilidad y apoyan su incorporación en las políticas públicas y las estrategias de desarrollo rural.

En este contexto, la actual investigación se apoya en la Teoría del Desarrollo Rural Sostenible, la cual considera a la

agricultura como una actividad económica, social y natural multifuncional, cohesionadora y preservadora del capital natural. Este enfoque se alinea con la Agenda 2030, en coherencia con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 15 (Vida de ecosistemas terrestres), particularmente en la meta 15.9 que incluye, dentro de la planificación y la contabilidad nacional, el valor de la biodiversidad. Igualmente, se sostiene el ODS 2 (Hambre cero) y el ODS 13 (Acción por el clima), al fomentar la producción de sistemas productivos resilientes que mitigan y se adaptan al cambio climático a través del secuestro de carbono y la estabilización de los agroecosistemas (Haggar *et al.*, 2021; Vallejos-Torres *et al.*, 2024).

A nivel nacional, este enfoque se integra con el actual modelo económico ecuatoriano, enmarcado dentro de los principios de Economía Social, Solidaridad y desarrollo sostenible, que enfatizan al pequeño productor, la equidad territorial y el equilibrio ecológico. Sin embargo, estas directrices coexisten con las dinámicas del mercado y las prácticas agrícolas que valoran los servicios ecosistémicos del mercado.

En este contexto, se formula la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es el valor económico documentado de los servicios ecosistémicos de los sistemas agroforestales de café en la literatura científica, y qué papel juegan en la sostenibilidad productiva y ambiental del sector cafetalero?

De acuerdo con la pregunta de investigación planteada, el presente estudio se enfocó en la revisión crítica de la información científica disponible acerca de los servicios ecosistémicos generados por sistemas agroforestales de café y su contribución a la sostenibilidad ambiental y económica en América Latina.

En este sentido, el objetivo general de la investigación consiste en analizar, desde una revisión bibliográfica, la valoración económica de los servicios ecosistémicos (eco servicios) de los sistemas agroforestales con café, y su aporte a la economía rural sostenible, en el contexto de América Latina.

A continuación, se presenta el sustento teórico de la investigación, elaborado a partir de la revisión de literatura científica relacionada con los servicios ecosistémicos y su valoración económica en sistemas agroforestales con café en Latinoamérica.

La literatura científica actual coincide en que los agroforestales cafetaleros superan a los monocultivos intensivos en la provisión de servicios ecosistémicos. Estudios desarrollados en la Amazonía peruana y en el sur de Brasil evidencian que la incorporación de árboles de sombra incrementa de manera significativa el almacenamiento de carbono total, especialmente en la biomasa aérea y en el suelo, alcanzando valores comparables a los de ecosistemas forestales secundarios (Vallejos-Torres *et al.*, 2024; Zaro *et al.*, 2020). Además, la investigación realizada en Colombia sugiere que una mayor diversidad floral y estructural en los sistemas agroforestales de café está asociada con un aumento

en el carbono orgánico del suelo, lo que refuerza su potencial en la mitigación del cambio climático (Delgado-Vargas y Franco, 2024).

Desde una perspectiva ecosistémica más amplia, autores han analizado la capacidad de los sistemas agroforestales para generar sinergias entre producción agrícola y conservación ambiental. Harvey *et al.* (2021) en una revisión regional, señalan que los cafetales agroforestales son importantes hábitats para la biodiversidad y corredores en paisajes fragmentados. En la misma línea, Cerda *et al.* (2020) demuestran que sistemas con sombra moderada pueden mantener rendimientos productivos estables y a la vez ofrecer múltiples servicios ecosistémicos, como control de enfermedades, conservación de biodiversidad y regulación de procesos ecológicos, siendo compatibles la producción y la sostenibilidad si se gestionan adecuadamente.

La economía reconoce que, para facilitar la incorporación de beneficios de tipo ecológico en la toma de decisiones, es necesario estimar dichos beneficios en términos monetarios (De Leijster *et al.*, 2021). El servicio de polinización en cafetales, el cual muestra limitaciones productivas en la calidad del grano y en los ingresos que obtiene el productor evidenciando que los servicios ecosistémicos pueden ser considerados como activos productivos (Jezeer *et al.*, 2019; Pereira Machado *et al.*, 2024).

Además, casos de pagos por servicios ambientales en países como Costa Rica demuestran que, cuando se combinan con asistencia técnica y acceso a mercados diferenciados, contribuyen a la conservación del capital natural y la sostenibilidad económica de los sistemas agroforestales (Salgado *et al.* 2025).

Materiales y métodos

Enfoque y tipo de estudio

Consistió en una revisión bibliográfica sistemática, enfocada en la valoración económica de servicios ecosistémicos de sistemas agroforestales con café en Latinoamérica. Este tipo de estudio permitió integrar y contrastar evidencia científica existente, sin manipulación de variables, con el fin de comprender tendencias, aportes y limitaciones documentadas en la literatura especializada.

La revisión sistemática permitió comparar los principales servicios ecosistémicos secuestro de carbono, biodiversidad, polinización, regulación hídrica y conservación del suelo en términos biofísicos y económicos. Como indican Guevara Alban *et al.* (2020), la revisión sistemática integra resultados dispersos y fortalece la fundamentación teórica de una investigación, lo cual fue apropiado para los propósitos del estudio.

Fuentes de información y selección de artículos

La búsqueda y selección de información se llevó a cabo a partir de artículos científicos especializados publicados entre 2017 y 2025, recuperados de bases de datos científicas de alto impacto

como Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink, Frontiers, así como de repositorios universitarios y literatura científica regional. Estas fuentes fueron seleccionadas debido a su rigor metodológico, revisión por pares y cobertura temática relacionada con la agroforestería, los servicios ecosistémicos y la sostenibilidad ambiental.

Se emplearon palabras clave y ecuaciones booleanas en español e inglés, entre ellas: *coffee agroforestry*, *ecosystem services*, *economic valuation*, *carbon sequestration*, *biodiversity*, *payments for ecosystem services*, *agroforestería cafetalera* y *servicios ecosistémicos*. Los criterios de inclusión consideraron estudios empíricos, revisiones sistemáticas y metaanálisis que abordaran sistemas agroforestales con café y reportaran evidencia cuantitativa o cualitativa verificable. Se excluyeron documentos duplicados, literatura no arbitrada y estudios que no guardaban relación directa con los objetivos de la investigación.

La estrategia de búsqueda se desarrolló mediante la combinación de palabras clave y operadores booleanos AND y OR para ampliar la cobertura de la búsqueda y garantizar la recuperación de estudios relevantes. La ecuación de búsqueda general utilizada fue la siguiente:

("coffee agroforestry" OR "agroforestería cafetalera") AND ("ecosystem services" OR "servicios ecosistémicos") AND ("economic valuation" OR "valoración económica") AND ("carbon sequestration" OR biodiversity OR pollination OR "water regulation")

Esta ecuación fue adaptada a las características y sintaxis específicas de cada base de datos consultada con el propósito de identificar investigaciones relacionadas con la valoración económica y ambiental de los servicios ecosistémicos en sistemas agroforestales con café en Latinoamérica.

Durante la fase inicial se identificaron 38 documentos potencialmente relacionados con la temática de investigación. Posteriormente, se efectuó un proceso de revisión y depuración, mediante el cual se excluyeron 13 documentos por presentar duplicidad, ausencia de información científica verificable, falta de relación directa con los objetivos del estudio o por corresponder a literatura no arbitrada. Como resultado del proceso de selección y elegibilidad, se incluyeron 25 publicaciones científicas para el análisis final.

Con el propósito de garantizar la transparencia y reproducibilidad del proceso de revisión sistemática, la Figura 1 presenta el procedimiento de identificación, selección, evaluación de elegibilidad e inclusión de los estudios analizados, siguiendo los lineamientos metodológicos de la declaración PRISMA. Este proceso permitió depurar la literatura recuperada y seleccionar las publicaciones científicas que cumplieron con los criterios establecidos para el estudio.

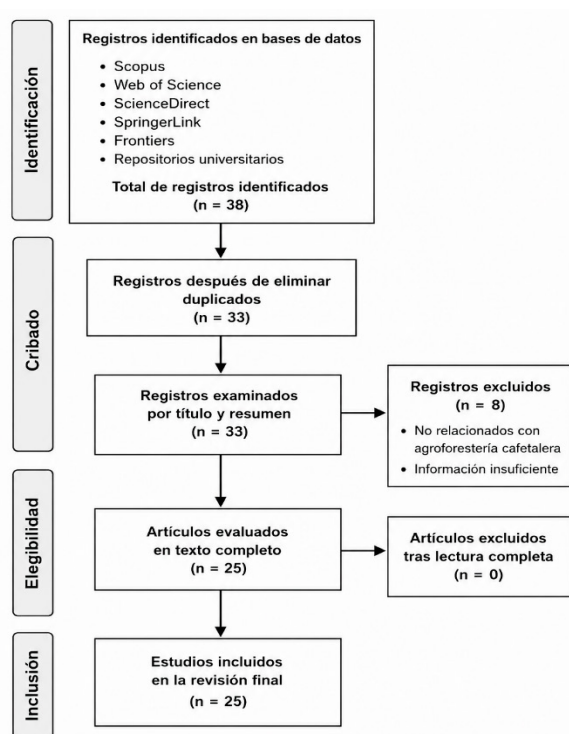


Figura X. Diagrama de flujo PRISMA del proceso de búsqueda, selección y elegibilidad de artículos científicos.

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de selección de artículos según la metodología PRISMA

Nota. Elaboración propia con base en el proceso de búsqueda, selección, elegibilidad e inclusión de artículos científicos utilizados en la revisión sistemática.

Método de análisis de la información

El análisis de la información se basó en una revisión crítica y comparativa de los estudios seleccionados, organizada según criterios temáticos y metodológicos para facilitar su interpretación, se muestra a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1. Método de análisis de la información

Aspecto	Descripción
Tipo de análisis	Lectura crítica, comparativa e interpretativa de los estudios
Organización de la información	Clasificación por país, servicio ecosistémico, metodología y resultados
Enfoque comparativo	Comparación entre sistemas agroforestales con café y sistemas a pleno sol
Criterio temporal	Evaluación de los servicios ecosistémicos en escalas de largo plazo

Nota. Elaboración propia a partir de la revisión de literatura científica sobre valoración de servicios ecosistémicos en cafetales agroforestales

Resultados y discusión

Servicios ecosistémicos en sistemas agroforestales con café

Los resultados reportados por Vallejos-Torres *et al.* (2024), Delgado-Vargas y Franco (2024) y Zaro *et al.* (2020) coinciden con que en los sistemas agroforestales con café se presenta más almacenamiento de carbono que en los monocultivos a plena luz solar. A pesar de que los trabajos fueron realizados en Perú, Colombia y Brasil, respectivamente, todos concluyeron que la incorporación de árboles de sombra favorece la acumulación de carbono en biomasa y suelo sin afectar el rendimiento del cultivo. Esto corrobora el concepto de relación positiva entre agroforestería y sostenibilidad ambiental dentro de los sistemas cafetaleros latinoamericanos.

La Figura 1 resumió comparativamente las diferencias entre los sistemas de café a pleno sol y los sistemas agroforestales bajo sombra según el efecto de la cobertura arbórea sobre el secuestro de carbono, la conservación del suelo y la biodiversidad. La Figura 2 se interpretó como un resumen de los resultados obtenidos en trabajos realizados en países latinoamericanos donde los sistemas agroforestales obtienen mejores beneficios ecosistémicos y ambientales que el monocultivo intensivo.

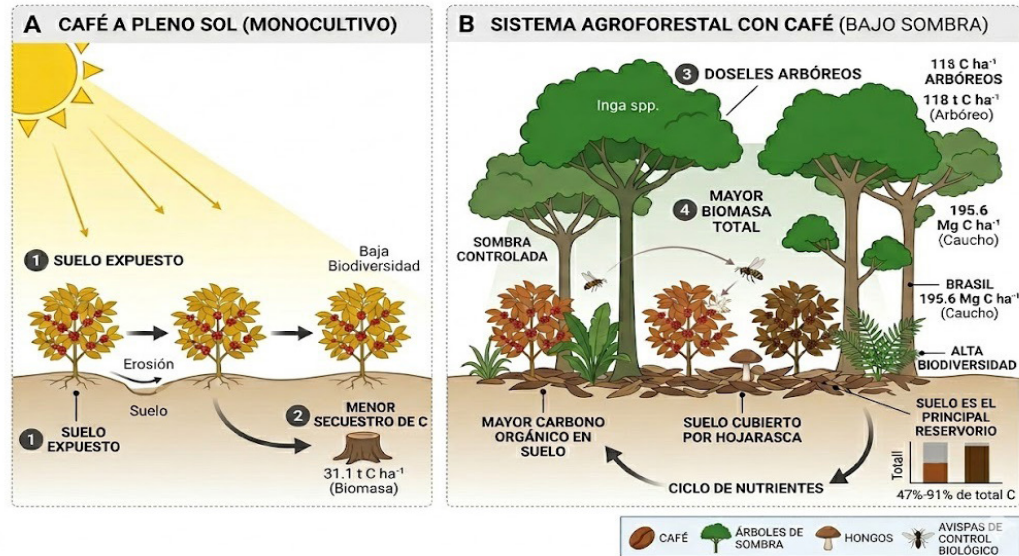


Figura 2. Servicios ecosistémicos en sistemas agroforestales con café

Nota. Elaboración propia a partir de Vallejos-Torres *et al.* (2024), Zaro *et al.* (2020), Delgado-Vargas y Franco (2024) y Salgado *et al.* (2025).

En la Amazonía peruana, los estudios analizados evidenciaron una mayor capacidad de almacenamiento de carbono en los sistemas agroforestales con café bajo sombra respecto a los sistemas sin sombra (Vallejos-Torres *et al.*, 2024). Estos resultados respaldan la importancia del componente arbóreo en la provisión de servicios ecosistémicos asociados a la mitigación del cambio climático, tal como se resume en la Tabla 2.

De manera similar, las investigaciones desarrolladas en Colombia reportan una respuesta favorable de los sistemas agroforestales en términos de almacenamiento de carbono en el suelo, asociada a una mayor diversidad florística y estructural, según se presenta en la Tabla 2.

En Brasil, la comparación entre sistemas agroforestales y monocultivos confirmó la misma tendencia. Plantaciones de café asociadas con árboles de caucho (*Hevea brasiliensis*) registraron valores de hasta 195,6 t C ha⁻¹, frente a 148,34 t C ha⁻¹ en sistemas a pleno sol, sin diferencias significativas en la productividad del cultivo (Zaro *et al.*, 2020). Estos resultados son particularmente relevantes para la discusión, ya que demuestran que la mejora en la provisión de servicios ecosistémicos no implica una penalización productiva, sino que puede coexistir con niveles de rendimiento similares, reforzando la viabilidad económica de los sistemas agroforestales.

Aunque los tres estudios coincidieron en reportar mayores niveles de carbono en sistemas agroforestales, se observaron diferencias en la magnitud de los resultados. En Perú, Vallejos-Torres *et al.* (2024) atribuyeron el incremento principalmente a la presencia de especies de sombra como *Inga spp.*, mientras que en Colombia Delgado-Vargas y Franco (2024) relacionaron los mayores valores con la diversidad florística

y el carbono orgánico del suelo. En Brasil, Zaro *et al.* (2020) destacaron la incorporación de árboles de caucho como un componente productivo adicional, aspecto que no fue evaluado en los estudios de Perú y Colombia.

Asimismo, estudios modernos destacaron que el suelo representa el principal compartimento de almacenamiento de carbono en cafetales agroforestales, pudiendo concentrar entre el 47 % y el 91 % del total del sistema, mientras que la biomasa del café contribuye solo entre un 2 % y un 7 % (Salgado *et al.*, 2025). Estos resultados refuerzan la discusión en torno al papel estratégico del manejo agroforestal como mecanismo de mitigación del cambio climático, al favorecer la acumulación de carbono en fracciones más estables del agroecosistema.

Con los resultados obtenidos por Vallejos-Torres *et al.* (2024), Salgado *et al.* (2025) y Zaro *et al.* (2020) se puede considerar que los sistemas agroforestales con café son una alternativa sostenible a los sistemas intensivos a pleno sol. Los hallazgos de los trabajos revisados mostraron que la sombra aumentó la captura y almacenamiento de carbono, especialmente en el suelo y en la biomasa aérea, lo que contribuyó a la mitigación del cambio climático. La similitud entre los resultados obtenidos en distintas latitudes en América Latina refuerza la consistencia de la evidencia científica revisada.

Estos hallazgos fortalecieron el argumento de que la agroforestería cafetalera constituye una alternativa sostenible frente a los sistemas intensivos a pleno sol, con implicaciones directas para la valoración económica de los servicios ecosistémicos y su potencial incorporación en políticas públicas y estrategias de desarrollo rural sostenible.

Secuestro y almacenamiento de carbono

Los hallazgos de la revisión mostraron que el secuestro y almacenamiento de carbono es uno de los servicios ecosistémicos más robustos y cuantificables en los agroforestales con café en Latinoamérica. En la Amazonía peruana, los cafetales bajo sombra tienen reservas totales de carbono de $118,2 \text{ t C ha}^{-1}$ cuando se asocian con *Inga spp.*, mientras que los cafetales sin sombra solo llegan a $31,1 \text{ t C ha}^{-1}$, una diferencia enorme que se debe al componente arbóreo (Vallejos-Torres *et al.*, 2024). Estos datos confirmaron que la presencia de árboles de sombra aumenta considerablemente el potencial de almacenamiento de carbono del sistema productivo.

Desde el punto de vista edáfico, la evidencia muestra que el suelo es un importante reservorio de carbono en los sistemas agroforestales. En Colombia, por ejemplo, se informa que los agroforestales con café aumentan el carbono orgánico del suelo en un 45 % más que en monocultivos, lo que se atribuye a la mayor diversidad florística y estructural del dosel (Delgado-Vargas y Franco, 2024).

Similares resultados se encuentran en Brasil, donde los sistemas agroforestales de café con árboles de caucho alcanzaron $195,6 \text{ t C ha}^{-1}$, mientras que en pleno sol se registraron $148,34 \text{ t C ha}^{-1}$, sin reducir la producción (Zaro *et al.*, 2020). Desde una perspectiva comparativa, estos hallazgos confirman que los sistemas agroforestales pueden conciliar productividad y mitigación del cambio climático, atenuando los conflictos entre metas económicas y ambientales.

El comportamiento del secuestro y almacenamiento

de carbono en sistemas agroforestales con café se resume en la Figura 3, donde se compararon cafetales a pleno sol y bajo sombra. También se observó el establecimiento de árboles asociados incrementó la biomasa y el carbono orgánico del suelo, garantizando sinergia entre producción agrícola y mitigación del cambio climático en los cafetales latinoamericanos.

Las tendencias halladas para Perú, Colombia y Brasil son similares en cuanto a la respuesta positiva de los sistemas agroforestales a la acumulación de carbono. Vallejos-Torres *et al.* (2024) y Zaro *et al.* (2020) indican que la presencia de árboles de sombra aumenta significativamente las reservas de carbono en biomasa y suelo en comparación con sistemas a pleno sol. Del mismo modo, Delgado-Vargas y Franco (2024) reportan incrementos significativos de carbono orgánico del suelo relacionados con mayor riqueza florística. La similitud entre estos estudios lleva a inferir que la agroforestería cafetalera representa una alternativa ambientalmente sostenible y funcional para la mitigación del cambio climático en diferentes contextos latinoamericanos.

Sin embargo, los enfoques metodológicos no fueron idénticos. Mientras Vallejos-Torres *et al.* (2024) cuantificaron reservas totales de carbono en diferentes arreglos productivos, Delgado-Vargas y Franco (2024) concentraron su análisis en el carbono orgánico del suelo. Por su parte, Zaro *et al.* (2020) compararon sistemas agroforestales con caucho y café frente a monocultivos, incorporando además variables relacionadas con la productividad del cultivo.

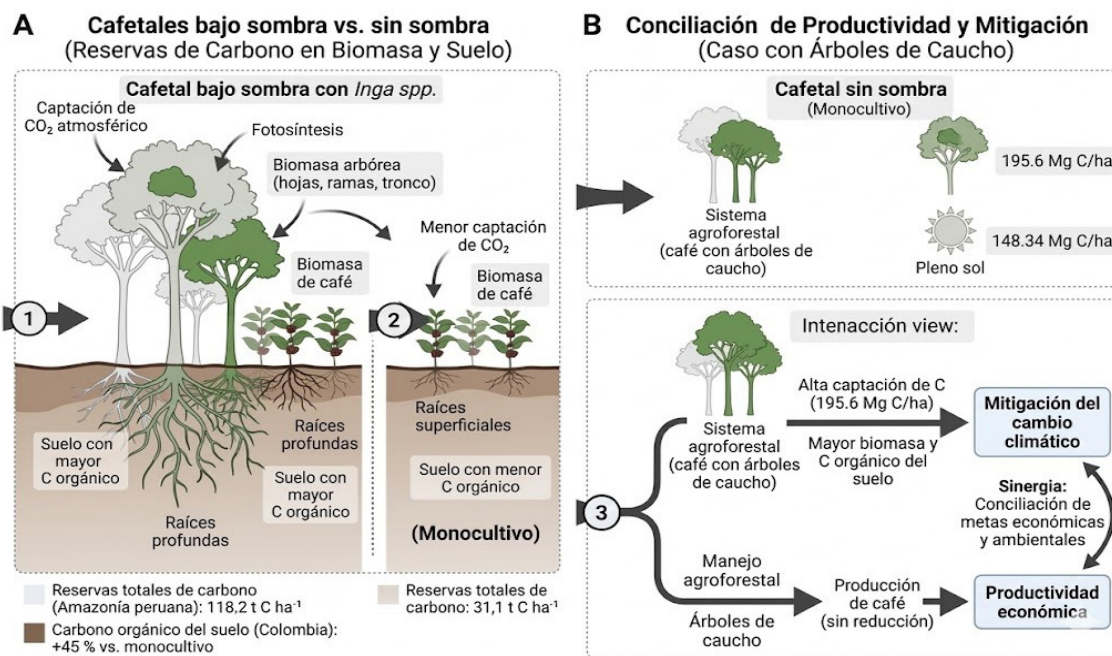


Figura 3. Secuestro y almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café

Nota. Elaboración propia a partir de Vallejos-Torres *et al.* (2024), Delgado-Vargas y Franco (2024), Zaro *et al.* (2020) y Salgado *et al.* (2025).

Conservación de la biodiversidad y provisión de hábitat

La conservación de las plantaciones de café a la sombra es de suma importancia para la preservación de la biodiversidad y los hábitats en los paisajes agrícolas, debido a la alta complejidad estructural que proporcionan los árboles asociados. Harvey *et al.* (2021) y Manson *et al.* (2024) postulan que los sistemas agroforestales con café contribuyen a la conservación de biodiversidad por la cobertura arbórea y la complejidad estructural que otorgan los árboles acompañantes. Coinciden en que los cafetales bajo sombra actúan como refugios y corredores biológicos en paisajes cultivados fragmentados. Se deduce que la agroforestería cafetalera contribuye a la producción agrícola y a la conservación ecológica del paisaje recreando sinergias entre ambos factores.

Sin embargo, Centeno-Alvarado *et al.* (2024) mencionan que los beneficios no se presentan de manera uniforme entre los diferentes sistemas de café agroforestales; en el caso de la fauna, los cafetales con un porcentaje de sombra intermedia o alta (superior al 30–35 %) presentan mayor riqueza y abundancia; es especialmente notorio el efecto observado en insectos y aves; sin embargo, hay que señalar que la influencia del sistema agroforestal y la especie de sombra que lo caracteriza presentan resultados que dependen de las condiciones específicas del paisaje y de la región estudiada. En el mismo sentido, Harvey *et al.* (2021) explican que la conectividad de los fragmentos boscosos circundantes, así como la composición de la matriz productiva circundante, son factores que influyen directamente sobre el valor del hábitat para los cafetales. Por lo que se puede inferir que la conservación de biodiversidad es el resultado de factores tales como la presencia o no de árboles acompañantes, pero también depende del manejo que mantengan desde un enfoque ecológico y por las características propias de la matriz productiva.

El tiempo es otro eje. Evidencia de largo plazo en Colombia muestra que la provisión de hábitat y los servicios ecosistémicos asociados a biodiversidad aumentan a medida que envejecen los sistemas agroforestales. A partir de una cronosecuencia de hasta 40 años, se ha demostrado que la cobertura de dosel es el predictor más robusto de servicios relacionados con refugio de fauna y estructura del hábitat, lo que sugiere que la biodiversidad depende no solo de la presencia de árboles, sino de procesos de maduración ecológica y manejo sostenido (De Leijster *et al.*, 2021). Este resultado coincide con lo reportado en estudios multiservicio que destacan trayectorias positivas de biodiversidad en sistemas agroforestales consolidados frente a sistemas recientemente establecidos (Cerdeira *et al.*, 2020).

Desde la perspectiva del manejo, los estudios comparativos en Costa Rica aportan un matiz relevante al debate. Investigaciones en fincas cafetaleras certificadas y no certificadas muestran que los sistemas con certificación tienden a proveer mayores niveles de servicios de hábitat; sin embargo, estos beneficios no se explican exclusivamente

por el esquema de certificación, sino por la adopción efectiva de prácticas de conservación en finca (Pico-Mendoza *et al.*, 2020). La presencia de sombra heterogénea, la conservación del suelo y la disminución de insumos externos son elementos cruciales, en línea con estudios que cuestionan la certificación como garantía automática de desempeño ambiental (Haggard *et al.*, 2021).

En México se abre la discusión para ligar biodiversidad con caminos de intensificación y planificación territorial. Estudios en Veracruz priorizan especies arbóreas nativas con criterios ecológicos y locales, demostrando que es posible diseñar arreglos de sombra que benefician la provisión de hábitat sin sacrificar la productividad (Flores-Ortiz *et al.*, 2025). Además, estudios espaciales de intensificación cafetalera muestran que los cambios en la cobertura vegetal alteran los indicadores de biodiversidad, por lo cual es necesario enfocar la conservación a escala de paisaje y no solo a nivel de parcela (Manson *et al.*, 2024).

En términos comparativos, los estudios incluidos concuerdan en que la biodiversidad de los sistemas de producción de café agroforestales dependerá principalmente de la cobertura arbórea y la conectividad ecológica del paisaje. Harvey *et al.* (2021), Centeno-Alvarado *et al.* (2024), Manson *et al.* (2024) reportan que los sistemas con sombra intermedia o alta presentan mejores condiciones para almacenar y conservar fauna y provisión de hábitat. Si bien existen variaciones regionales entre los resultados reportados, los autores concuerdan en que los sistemas agroforestales son más funcionales a nivel ecológico que los monocultivos intensivos a pleno sol.

Polinización y control biológico

Los Cafetales de sombra promueven servicios de polinización y control biológico: “representan un incremento espacio-temporal de hábitats y recursos florales para los insectos benéficos” (Jezeer *et al.*, 2019; Centeno-Alvarado, 2024). Se reportó mayor abundancia de abejas nativas y otros polinizadores en sistemas agroforestales comparados con cafetales a sol pleno (Jezeer *et al.*, 2019; Centeno-Alvarado *et al.*, 2024). Pereira Machado *et al.* (2024) indicaron que la proximidad a la vegetación nativa incrementa las tasas de visita floral y la calidad del grano, reforzando la relación biodiversidad-productividad.

Desde un punto de vista cuantitativo, estudios demuestran que coberturas de sombra superiores al 35 % se relacionan con incrementos constantes en la diversidad de abejas y otros polinizadores importantes. Un metaanálisis de cafetales agroforestales muestra que la cobertura arbórea y la cercanía a vegetación natural (<500 m) son los principales factores que explican la variación en los servicios de polinización (Centeno-Alvarado *et al.*, 2024). Además, estudios experimentales en Brasil han demostrado que las áreas de borde de cafetales próximas a vegetación nativa tienen mayores tasas de visita floral y mejor calidad de grano, demostrando una relación

funcional entre biodiversidad y rendimiento (Pereira Machado *et al.*, 2024)

Esta información descrita indica que los servicios de polinización y control biológico en cafetales no están determinados por el sistema productivo en sí, sino por su contexto en el paisaje y prácticas de manejo que promuevan la heterogeneidad estructural. Si bien la literatura evidencia sinergias entre biodiversidad y producción bajo ciertos niveles de sombra, también es cierto que estos beneficios se pierden en sistemas altamente intensificados o aislados de remanentes naturales. Por lo cual, la agroforestería cafetalera puede ser una manera de mantener estos servicios, siempre y cuando haya un balance entre cobertura arbórea, manejo agronómico y conectividad ecológica.

Los resultados obtenidos por Jezeer *et al.* (2019), Centeno-Alvarado *et al.* (2024) y Pereira Machado *et al.* (2024) se asemejan. Los tres estudios indican que existe una relación positiva entre la cobertura arbórea y la cantidad de polinizadores. Se menciona que la riqueza de insectos benéficos es mayor en los sistemas de sombra y en las proximidades de la vegetación nativa, así como en los sistemas agroforestales con sombras multipropósitos, sugiriendo que las prácticas de manejo propuestas favorecen los beneficios ecosistémicos de polinización, lo cual está relacionado con una mayor riqueza y abundancia de estos organismos, fortaleciendo la biodiversidad del sistema y favoreciendo su productividad, lo que demuestra que los servicios ecosistémicos de polinización dependen parcialmente de las prácticas de manejo compatibles con el manejo ecológico.

Regulación hídrica y conservación de suelos

Uno de los servicios ecosistémicos asociados a cafetales con sombra es la conservación de suelos y la regulación hídrica, debido a los efectos que el dosel y la cobertura del suelo

tienen sobre los procesos hidrológicos. En Centroamérica y Brasil, se ha demostrado que los agroecosistemas reducen la escorrentía y la pérdida de suelo más que los cafetales a pleno sol. En Nicaragua, mediciones de erosión hídrica en parcelas de cafetales bajo sistemas agroforestales, se reportaron reducciones significativas, lo que se atribuyó a la cobertura protectora del suelo de arbóreo y hojarasca (Blanco-Sepúlveda *et al.*, 2024).

La comparación de cafetales a pleno sol y bajo sombra muestra que los sistemas bajo sombra presentan un microclima más estable, con menor erosión y pérdida de agua. En Brasil, los sistemas de sombra, en comparación con los sistemas de pleno sol, reducen la escorrentía y la pérdida de sedimentos y, además, mantienen mejores condiciones de humedad del suelo y temperatura (De Carvalho *et al.*, 2021). También, en Costa Rica, el café con especies arbóreas como Inga, mejora la captación de agua y disminuye la percolación profunda, lo que contribuye a la regulación del ciclo hídrico a nivel de parcela (Haggar *et al.*, 2021).

Evidencia cuantitativa y valoración económica de los servicios ecosistémicos

La Tabla 2 sintetiza la evidencia cuantitativa y la valoración económica reportada en estudios realizados en sistemas agroforestales con café en distintos países de Latinoamérica, destacando los principales servicios ecosistémicos evaluados, los valores biofísicos estimados y, cuando existe, su traducción en términos monetarios. Esta síntesis permite comparar enfoques metodológicos, magnitudes de los servicios y el grado de avance en la internalización económica de los beneficios ambientales asociados a la agroforestería cafetalera.

Tabla 2 Evidencia cuantitativa y valoración económica de los servicios ecosistémicos en sistemas agroforestales con café en Latinoamérica

País	Estudio (autor, año)	Servicio(s)	Evidencia cuantitativa (reportada)	Valoración económica (reportada)
Perú	(Vallejos-Torres <i>et al.</i> , 2024)	Carbono (reservas totales y suelo)	Bosque secundario: 132,2 t C ha ⁻¹ ; café con sombra (*Inga*): 118,2 t C ha ⁻¹ ; policultivo: 76,5 t C ha ⁻¹ ; café sin sombra: 31,1 t C ha ⁻¹ ; carbono orgánico del suelo (SOC): 29,05–45,7 t C ha ⁻¹ .	No reporta valoración monetaria
Perú	(Jezeer <i>et al.</i> 2019)	Múltiples servicios ecosistémicos	Mayor almacenamiento de carbono y provisión de servicios bajo sistemas con sombra, sin reducción del rendimiento del café	No reporta valoración monetaria
Colombia	(Delgado-Vargas y Franco, 2024)	Carbono orgánico del suelo (COS)	Sistemas agroforestales incrementan el COS en 45 % frente a monocultivo; relación positiva con diversidad florística y estructural	No reporta valoración monetaria

País	Estudio (autor, año)	Servicio(s)	Evidencia cuantitativa (reportada)	Valoración económica (reportada)
Brasil	(Zaro et al., 2020)	Secuestro y almacenamiento de carbono	SAF (café + caucho): 195,6 t C ha ⁻¹ ; café a pleno sol: 148,34 t C ha ⁻¹ .	Reporta ingreso adicional por extracción de látex, sin cuantificación monetaria específica
Brasil	(Pereira Machado et al., 2024)	Polinización (impacto productivo y económico)	Mayor visita floral en bordes de plantación; mejoras en cuajado de frutos, semillas y calidad del grano	Ganancia económica potencial estimada mediante extrapolación del efecto de borde (US\$1.736,37/ha /ha); escenario modelado
México	(Charoud et al. 2023)	PSA / Conservación de bosque (co-beneficios: carbono, biodiversidad, agua)	En Selva Lacandona (Chiapas), la cobertura forestal en sitios con 10 años en PES fue 16.5% mayor frente a no enrolados comparables; contratos típicos de 5 años renovables. (Nature)	Pagos del programa reportados como 550–1000 MXN/ha (≈ US\$ 31–57/ha) bajo contratos de 5 años renovables. (Nature)
Costa Rica	(Murguía et al., 2022)	PSA nacional (conservación forestal; servicios reconocidos por ley)	Evaluación con 3,495 solicitantes (2016–2019); el estudio reporta una disminución estadísticamente significativa de la deforestación el primer año tras ingresar al PSA; también contextualiza el aumento de cobertura forestal del país (1980→2021).	El programa acumuló pagos por US\$ 565 millones y protegió 1,158,512.60 ha (cifras acumuladas del programa).
Nicaragua	(Blanco-Sepúlveda et al., 2024)	Control de erosión (suelo y agua)	Reducción significativa de pérdida de suelo asociada a sombra y cobertura vegetal (17 parcelas en 8 fincas)	No reporta valoración monetaria
Ecuador	(Guerrero Villegas, 2017)	Servicio hídrico en sistemas cafetaleros agroforestales	Estimación de disponibilidad y regulación hídrica en cafetales orgánicos con sombra (zona de Íntag, Imbabura)	Valoración económica mediante disposición a pagar (DAP) por conservación del servicio hídrico
Ecuador	(Moreira Muñoz, 2025)	Captura y almacenamiento de carbono	Los sistemas agroforestales de café registraron reservas de 4,72 t C ha ⁻¹ y 17,33 t CO ₂ ha ⁻¹ , asociadas a una densidad promedio de 15,8 árboles ha ⁻¹ .	No reporta valoración monetaria directa; datos aptos para conversión económica vía precio social o mercado del carbono
Haití	(Millet et al., 2025)	Paquetes (“bundles”) de servicios ecosistémicos	Identificación de conjuntos de servicios ecosistémicos asociados a la agrobiodiversidad	No reporta valoración monetaria

Nota. Algunos estudios incluyen valores económicos de los servicios ecosistémicos, mientras que otros reportan únicamente información biofísica.

Los datos de América Latina documentan y respaldaron el caso de que los sistemas agroforestales de café a la sombra proporcionan mayores servicios ecosistémicos que los monocultivos a pleno sol. Estos servicios ecosistémicos incluyen la captura de carbono, la regulación del agua, la conservación del suelo y el apoyo a la biodiversidad.

Sin embargo, la valoración económica de los servicios

ecosistémicos sigue estando poco investigada y es muy inconsistente de país a país, lo que dificulta la valoración de los servicios ecosistémicos en las políticas públicas y en los marcos de decisión de producción.

En el caso de Perú, se han reportado diferencias significativas en la capacidad de captura de carbono entre los distintos sistemas productivos. Los sistemas agroforestales

con café bajo sombra presentan mayores reservas de carbono que los monocultivos a pleno sol, lo que evidencia su aporte a la mitigación del cambio climático (Vallejos-Torres *et al.*, 2024). No obstante, estos beneficios continúan expresándose principalmente en términos biofísicos, sin una valoración económica que permita compararlos con otras alternativas de uso del suelo.

Como se observa en la Tabla 2, los estudios desarrollados en Colombia evidencian una mayor acumulación de carbono orgánico del suelo en sistemas agroforestales respecto a los monocultivos. Estos resultados reafirman la contribución de la agroforestería a la mitigación del cambio climático; sin embargo, persiste la ausencia de valoraciones económicas que permitan incorporar estos beneficios en mecanismos de incentivos ambientales.

De manera similar, la evidencia reportada para Brasil muestra ventajas ambientales y productivas asociadas a los sistemas agroforestales con café. No obstante, aunque algunos estudios reconocen beneficios económicos complementarios derivados de actividades asociadas, aún son escasas las investigaciones que cuantifican de forma integral el valor económico de los servicios ecosistémicos generados por estos sistemas.

Los mayores avances en la valoración económica directa se dan en servicios relacionados con la polinización y las herramientas de política ambiental. En Brasil, por ejemplo, estudios calculan que la mayor visita floral de polinizadores en márgenes de cafetales adyacentes a vegetación nativa se refleja en un mejor cuajado de frutos, calidad del grano y rendimiento, lo que podría generar una ganancia económica potencial modelada de US\$ 1,736.37 por hectárea (Pereira Machado *et al.*, 2024).

Estas aproximaciones hacen visible la contribución económica indirecta de la biodiversidad, pero su extrapolación a otras formas productivas es delicada, ya que depende del paisaje y las prácticas locales. En México, la valoración económica se ha integrado sobre todo a través de programas de Pagos por Servicios Ambientales (PSA). En la Selva Lacandona, los sitios inscritos 10 años en PSA tuvieron 16.5 % más cobertura forestal que áreas comparables no inscritas, con pagos de 550–1,000 MXN/ha (US\$ 31–57/ha) en contratos renovables (Charoud *et al.*, 2023). Si bien son pequeñas cantidades, demuestran un reconocimiento económico explícito por los servicios ecosistémicos.

Así también en centro América, en países como Costa Rica es el caso más consolidado de institucionalización de la valoración económica. Su programa nacional de PSA, que reconoce legalmente servicios como captura de carbono, regulación hídrica y conservación de biodiversidad, acumuló pagos cercanos a US\$ 565 millones y protegió más de 1.15 millones de hectáreas. Murguía *et al.* (2022), señalaron la disminución estadísticamente significativa de la deforestación dentro del primer año de participación en el programa.

En contraste con otros países de la región, Ecuador

presenta experiencias puntuales de valoración económica de servicios ecosistémicos vinculados a sistemas agroforestales con café. Como se muestra en la Tabla 2, las investigaciones disponibles han abordado principalmente la valoración del recurso hídrico y la estimación de la captura de carbono; sin embargo, todavía existe una limitada incorporación de estos resultados en instrumentos económicos o mecanismos de mercado ambiental (Moreira Muñoz, 2025).

Conclusiones

La literatura muestra que los sistemas agroforestales con café varían en los servicios ecosistémicos que ofrecen entre países, en función del tipo de manejo, composición arbórea y entorno. En Perú, los cafetales bajo sombra alcanzan reservas de carbono cercanas a 118,2 t C ha⁻¹, mientras que los sistemas a pleno sol apenas registran 31,1 t C ha⁻¹, lo que demuestra una brecha sustancial atribuida a la estructura agroforestal. En Brasil, los sistemas agroforestales combinados con café y caucho alcanzan valores aún mayores, hasta 195,6 t C ha⁻¹, muy superiores a los monocultivos, sin reducir los rendimientos productivos.

El suelo tiene la mayor cantidad de almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales cafetaleros, aunque la magnitud varía en el espacio. En Colombia, estudios reportan incrementos de aproximadamente el 45% en carbono orgánico del suelo en agroforestería en comparación con monocultivos, relacionado con una mayor diversidad florística. En contraste, estudios en la Amazonía peruana indicaron que el suelo puede representar entre el 47% y el 91% del carbono total almacenado, reflejando una mayor estabilidad de carbonatos en regiones con un manejo agroforestal más consolidado.

En términos de biodiversidad y servicios ecosistémicos, los sistemas agroforestales de café tienen los mejores resultados en países con más cobertura arbórea y conectividad del paisaje. En México y Colombia, los sistemas con más del 30-35% de cobertura arbórea son más ricos en polinizadores y fauna asociada, mientras que en sistemas más intensificados se pierden estos beneficios. Estas diferencias muestran que la provisión de servicios ecosistémicos no depende únicamente del cultivo de café, sino del contexto territorial y el manejo a largo plazo del sistema.

La estimación de la economía de servicios ecosistémicos en Latinoamérica es todavía una actividad en desarrollo. En cuanto a la polinización, en Brasil se ha calculado un ingreso potencial cercano a US\$ 1.736 por hectárea, por mejoras en la calidad y en la cantidad del grano. En México y Costa Rica se han pagado en aparente relación a la conservación de los bosques entre US\$ 31 y 57 por hectárea. En contraposición, en la mayor parte de Perú, Colombia y Ecuador predominan las estimaciones biofísicas sin monetización, lo que limita su incorporación en instrumentos de políticas públicas y sistemas de incentivos.

Referencias

- Blanco-Sepúlveda, R., Lima, F., y Aguilar-Carrillo, A. (2024). An assessment of the shade and ground cover influence on the mitigation of water-driven soil erosion in a coffee agroforestry system. *Agroforestry Systems*, 98(6), 1771-1782. <https://doi.org/10.1007/s10457-024-00989-6>
- Briceño Salas, J. P., y Torres, V. (2024). Estrategias en sistemas agroforestales aplicadas al café. *Bosques Latitud Cero*, 14(2), 40-50. <https://doi.org/10.54753/blc.v14i2.2219>
- Centeno-Alvarado, D., Lopes, A. V., y Arnan, X. (2024). Shaping pollinator diversity through coffee agroforestry management: A meta-analytical approach. *Insect Conservation and Diversity*, 17(5), 729-742. <https://doi.org/10.1111/icad.12755>
- Cerda, R., Avelino, J., Harvey, C. A., Gary, C., Tixier, P., y Allinne, C. (2020). Coffee agroforestry systems capable of reducing disease-induced yield and economic losses while providing multiple ecosystem services. *Crop Protection*, 134. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105149>
- Charoud, H., Costedoat, S., Izquierdo-Tort, S., Moros, L., Villamayor-Tomás, S., Castillo-Santiago, M. Á., Wunder, S., y Corbera, E. (2023). Sustained participation in a Payments for Ecosystem Services program reduces deforestation in a Mexican agricultural frontier. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-49725-7>
- De Carvalho, A. F., Fernandes-Filho, E. I., Daher, M., Gomes, L. de C., Cardoso, I. M., Fernandes, R. B. A., y Schaefer, C. E. G. R. (2021). Microclimate and soil and water loss in shaded and unshaded agroforestry coffee systems. *Agroforestry Systems*, 95(1), 119-134. <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00567-6>
- De Leijster, V., Santos, M. J., Wassen, M. W., Camargo García, J. C., Llorca Fernandez, I., Verkuil, L., Scheper, A., Steenhuis, M., y Verweij, P. A. (2021). Ecosystem services trajectories in coffee agroforestry in Colombia over 40 years. *Ecosystem Services*, 48. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101246>
- Delgado-Vargas, I. A., & Franco, N. B. (2024). Soil organic carbon storage in different agroforestry systems associated with coffee in Nariño, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 36, 59765. <https://doi.org/10.15517/am.2024.59765>
- Flores-Ortiz, C. M., Davila, P., Rodríguez-Arevalo, I., Manson, R. H., Toledo-Garibaldi, M., Cabrera-Santos, D., Salguero, M. A., Vázquez, F. G., Cobos-Silva, J., Gianella, M., Bell, E., Way, M., Mattana, E., y Ulian, T. (2025). Prioritisation of native trees for enhancing carbon sequestration in shade-grown coffee plantations in the State of Veracruz (México): linking conservation and ecological traits to community needs. *Agroforestry Systems*, 99(3). <https://doi.org/10.1007/s10457-025-01155-2>
- Galeana-Pizaña, J. M., & Manson, R. H. (2025). Mapping coffee intensification in Mexico: a multivariate spatial analysis approach. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1649756>
- Guerrero Villegas, W. M. (2017). *Valoración de los servicios ecosistémicos hídricos en la cadena de valor del café orgánico de la zona de intag* [Tesis de grado, Universidad Técnica del Norte]. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/6724>
- Guevara Alban, G. P., Verdesoto Arguello, A. E., y Castro Molina, N. E. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *Recimundo*, 4(3), 163-173. <https://www.recimundo.com/index.php/es/article/view/860>
- Haggar, J., Casanoves, F., Cerda, R., Cerretelli, S., Gonzalez-Mollinedo, S., Lanza, G., Lopez, E., Leiva, B., y Ospina, A. (2021). Shade and Agronomic Intensification in Coffee Agroforestry Systems: Trade-Off or Synergy?. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.645958>
- Harvey, C., Prittss, A., Zwetsloot, M., Jansen, K., Pulleman, M., Armbrrecht, I., Avelino, J., Barrera, J., Bunn C., García, J. H., Isaza, C., Munoz-Ucros, J., Pérez-Alemán, C. J., Rahn, E., Robiglio, V., Somarriba, E., y Valencia, V. (2021). Transformation of coffee-growing landscapes across Latin America. A review. Una revisión. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(62), 1-19. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-021-00712-0>
- Jezeer, R. E., Santos, M. J., Verweij, P. A., Boot, R. G. A., y Clough, Y. (2019). Benefits for multiple ecosystem services in Peruvian coffee agroforestry systems without reducing yield. *Ecosystem Services*, 40. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.101033>
- Manson, S., Nekaris, K. A. I., Nijman, V., & Campera, M. (2024). Effect of shade on biodiversity within coffee farms: A meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 914, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.169882>
- Millet, C. P., Jeune, W., Guervil, J. S., St Armand, L. A., Amazan, J. F., Duval, G., Jean Louis, R. B., Robert, B., Poncet, V., y Allinne, C. (2025). Ecosystem service bundles associated with agrobiodiversity in agroforestry systems: A case study of two coffee-growing regions of Haiti. *Ecosystem Services*, 76. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2025.101782>
- Moreira Muñoz, H. G. (2025). *Potencial de captura de carbono y resiliencia climática para café agroforestal en Palanda, Zamora Chinchipe* [Tesis de maestría, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. <https://repositorio.upse.edu.ec/items/164fe466-f1a7-43ee-9043-b4317ebfdeb4>

- Murguía, J., Ordoñez, P., Corral, L., y Navarrete-Chacon, G. (2022). Payment for Ecosystem Services in Costa Rica: Evaluation of a Country-Wide Program. *Inter-American Development Bank Environment, Rural Development and Disaster Risk Management Division*, (pp. 1–10). <https://publications.iadb.org/en/payment-ecosystem-services-costa-rica-evaluation-country-wide-program>
- Pereira Machado, A. C., Baronio, G. J., Soares Novaes, C., Ollerton, J., Wolowski Torres, M., Silva Lopes, D. N., y Rech, A. R. (2024). Optimizing coffee production: Increased floral visitation and bean quality at plantation edges with wild pollinators and natural vegetation. *Journal of Applied Ecology*, 61(3), 465–475. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14591>
- Pico-Mendoza, J., Pinoargote, M., Carrasco, B., y Limongi Andrade, R. (2020). Ecosystem services in certified and non-certified coffee agroforestry systems in Costa Rica. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 44(7), 902–918. <https://doi.org/10.1080/21683565.2020.1713962>
- Ruiz García, P., Gómez Díaz, J. D., Valdes Velarde, E., y Monterroso Rivas, A. I. (2020). Sistemas agroforestales de café como alternativa de producción sustentable para pequeños productores de México. *Ra Ximhai*, 16(4), 137-158. <https://doi.org/10.35197/rx.16.04.2020.07.pr>
- Salgado Veramendi, N., Romero-Chavez, L. E., Huerto Pajuelo, E. S., Ibarra Porras, C. del C., Cunyas-Camayo, J. M., Aldava Pardave, U., Vallejos-Torres, G., y Solórzano Acosta, R. (2025). Carbon storage in coffee agroforestry systems: role of native and introduced shade trees in the central peruvian amazon. *Agriculture (Switzerland)*, 15(13). <https://doi.org/10.3390/agriculture15131415>
- Vallejos-Torres, G., Gaona-Jimenez, N., Pichis-García, R., Ordoñez, L., García-Gonzales, P., Quinteros, A., Lozano, A., Saavedra-Ramírez, J., Tuesta-Hidalgo, J. C., Reategui, K., Macedo-Córdova, W., Baselly-Villanueva, J. R., y Marín, C. (2024). Carbon reserves in coffee agroforestry in the Peruvian Amazon. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1410418>
- Zaro, G. C., Caramori, P. H., Yada Junior, G. M., Sanquetta, C. R., Filho, A. A., Nunes, A. L. P., Prete, C. E. C., y Voroney, P. (2020). Carbon sequestration in an agroforestry system of coffee with rubber trees compared to open-grown coffee in southern Brazil. *Agroforestry Systems*, 94(3), 799-809. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00450-z>

