

Sostenibilidad ambiental en una asociación de pequeños caficultores de la selva peruana: prácticas e impactos

Environmental sustainability in an association of smallholder coffee growers in the peruvian amazon: practices and impacts

Angie Tatyana Fernandez Escobar ^a 
✉ jsaldivar@undc.edu.pe

Henry Briceño Yen ^b 

Jeisson David Cabos Sanchez ^a 

Patricia Pilar Romero Ushuñahua ^a 

Abby Solange Da Cruz Rodriguez ^a 

Franklin Dionisio Montalvo ^a 

^a Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú

^b Universidad Nacional Hermilio Valdizán. Huánuco, Perú

Resumen

Palabras clave:

Biodiversidad; Caficultura amazónica; Conservación de suelos; Pequeños productores; Sostenibilidad agrícola

Keywords:

Agricultural sustainability; Amazonian coffee farming; Biodiversity; Smallholders; Soil conservation

Cómo citar: Fernandez Escobar AT, Briceño Yen H, Cabos Sanchez JD, Romero Ushuñahua PP, Da Cruz Rodriguez AS, Montalvo FD.

Sostenibilidad ambiental en una asociación de pequeños caficultores de la selva peruana: prácticas e impactos. ALFA Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias. 2026;10(29):01-15
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v10i29.494>

Contexto: La caficultura en la Amazonía peruana enfrenta desafíos ambientales significativos derivados de prácticas convencionales que degradan los ecosistemas tropicales. La sostenibilidad ambiental resulta fundamental para la preservación de los recursos naturales en zonas productoras de café. **Objetivo:** El objetivo de la investigación fue evaluar la sostenibilidad ambiental en una asociación de pequeños caficultores del distrito de Hermilio Valdizán, Huánuco, Perú, mediante indicadores de conservación de suelo, riesgo de erosión y biodiversidad. **Metodología:** Se aplicó el framework MESMIS con indicadores estandarizados en escala 0-4, evaluando tres dimensiones: conservación de la calidad del suelo, riesgo de erosión y biodiversidad, en una muestra de 30 pequeños productores cafeteros. **Resultados:** La sostenibilidad ambiental alcanzó un puntaje global de 3,47 sobre 4,00. La dimensión de conservación del suelo obtuvo 3,56; el riesgo de erosión 3,42; y la biodiversidad 3,44. La diversificación de cultivos fue el subindicador más crítico con 2,78. **Conclusiones:** Los caficultores operan fincas ambientalmente sostenibles, aunque la diversificación de cultivos y el uso de agroquímicos requieren atención prioritaria para fortalecer la resiliencia del sistema productivo.

Abstract

Context: Coffee farming in the Peruvian Amazon faces significant environmental challenges stemming from conventional practices that degrade tropical ecosystems. Environmental sustainability is essential for the preservation of natural resources in coffee-producing regions. **Objective:** The objective of this research was to evaluate environmental sustainability in an association of smallholder coffee growers in the district of Hermilio Valdizán, Huánuco, Peru, using indicators of soil conservation, erosion risk, and biodiversity. **Method:** The MESMIS framework was applied with standardized indicators on a 0-4 scale, evaluating three dimensions: soil quality conservation, erosion risk, and biodiversity, in a sample of 30 smallholder coffee producers. **Result:** Environmental sustainability achieved a global score of 3.47 out of 4.00. The soil conservation dimension scored 3.56; erosion risk 3.42; and biodiversity 3.44. Crop diversification was the most critical sub-indicator at 2.78. **Conclusion:** Coffee growers operate environmentally sustainable farms, although crop diversification and agrochemical use require priority attention to strengthen the resilience of the production system.

Introducción

El café constituye uno de los principales productos agrícolas a nivel mundial, con un crecimiento sostenido que ha alcanzado aproximadamente el 23% en la última década, consolidándose como uno de las materias primas más comercializados en el mercado internacional ⁽¹⁾. Perú se posiciona como uno de los principales productores de café en América Latina, destacándose por la calidad de sus granos de arábica cultivados en condiciones de altitud privilegiadas ⁽²⁾. La región amazónica peruana representa una porción significativa de la producción nacional, contribuyendo con más del 70% del volumen total exportado, según datos del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego ⁽³⁾. Los pequeños productores predominan en el paisaje cafetero de esta región, operando unidades productivas menores a cinco hectáreas que constituyen el sustento económico de miles de familias rurales distribuidas a lo largo de la ceja de selva y la selva alta peruana.

En efecto, la escala de la producción cafetera en la Amazonía peruana guarda una relación directa con las presiones ambientales ejercidas sobre los ecosistemas tropicales. La deforestación progresiva, la degradación de suelos por prácticas agrícolas intensivas y la contaminación de fuentes hídricas por el uso de agroquímicos constituyen las principales externalidades negativas asociadas a la expansión de la frontera cafetera ⁽⁴⁾. Estudios recientes documentaron que las prácticas convencionales de cultivo, incluyendo la eliminación de cobertura vegetal y la aplicación excesiva de fertilizantes sintéticos, generan impactos acumulativos que comprometen la capacidad productiva a mediano y largo plazo de los agroecosistemas cafeteros ⁽⁵⁾. La vulnerabilidad de estos sistemas se incrementa en contextos de fragilidad ecológica como la selva alta, donde las pendientes pronunciadas y las altas precipitaciones favorecen los procesos erosivos.

Adicionalmente, el cambio climático impacta significativamente el cultivo de café en las regiones tropicales, alterando las condiciones agroecológicas óptimas para su desarrollo. Los incrementos de temperatura y las modificaciones en los patrones de precipitación reducen la aptitud productiva de las zonas cafeteras tradicionales, mientras que la propagación de la roya del café (*Hemileia vastatrix*) se intensificó en respuesta a estas variaciones climáticas. En este sentido, se proyectó que las áreas aptas para el cultivo de arábica podrían reducirse hasta en un 50% para 2050 bajo escenarios de cambio climático moderado, lo que plantea desafíos críticos para la sostenibilidad de la caficultura mundial ⁽⁶⁾. Asimismo, se señaló que las estrategias de adaptación y mitigación climática deben integrarse con los objetivos de medios de vida de los productores para identificar sinergias efectivas ⁽⁷⁾.

Por otro lado, el concepto de sostenibilidad ambiental en la caficultura trasciende la mera conservación de recursos naturales, abarcando la capacidad del sistema productivo para mantener sus funciones ecológicas a lo largo del tiempo sin comprometer la base natural que lo sustenta. El marco MESMIS (Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales mediante Indicadores de Sostenibilidad) proporciona una metodología estructurada para evaluar la sostenibilidad a través de indicadores comparables y estandarizados. La utilidad del MESMIS como herramienta que permite la evaluación integral de sistemas agroproductivos se destacó en diversos estudios, facilitando la identificación de fortalezas y debilidades en las dimensiones económica, social y ambiental ⁽⁸⁾. La importancia de evaluar la sostenibilidad con indicadores estandarizados radica en la posibilidad de establecer comparaciones interregionales y monitorear la evolución de los sistemas a lo largo del tiempo.

En este contexto, la conservación del suelo se configura como una dimensión crítica de la sostenibilidad ambiental en la caficultura. El uso de fertilizantes sintéticos, si bien incrementa los rendimientos a corto plazo, genera efectos adversos sobre la salud del suelo, incluyendo la acidificación, la disminución de la actividad microbiana y la alteración de los ciclos biogeoquímicos. Los riesgos ambientales asociados al uso de pesticidas en la producción cafetera han sido evidenciados en la literatura, señalando que la contaminación de suelos y aguas subterráneas representa una amenaza significativa para la sostenibilidad ecológica de estos sistemas ⁽⁴⁾. En contraposición, las prácticas orgánicas como la incorporación de materia orgánica, el

uso de compost y la fertilización biológica contribuyen a la recuperación y mantenimiento de la fertilidad edáfica, promoviendo una mayor resiliencia del sistema productivo frente a perturbaciones ambientales ⁽⁹⁾.

No obstante, la transición hacia prácticas orgánicas enfrenta barreras significativas que limitan su adopción generalizada entre los pequeños productores. Las restricciones económicas, las brechas de conocimiento técnico y los costos asociados a la certificación orgánica constituyen obstáculos determinantes que dificultan el cambio de paradigma productivo. Al respecto, se concluyó, que a partir de análisis críticos de la sostenibilidad agronómica y económica de la producción orgánica de café, que los rendimientos inferiores y la volatilidad de los precios premium no siempre compensan los costos adicionales de la conversión ⁽¹⁰⁾. Por su parte, un análisis de la sostenibilidad corporativa en la industria cafetera colombiana evidenció que la certificación orgánica para pequeños productores representa tanto una oportunidad de diferenciación en el mercado como un desafío económico que requiere apoyo institucional sostenido ⁽¹¹⁾.

Asimismo, el riesgo de erosión en las plantaciones cafeteras establecidas en terrenos con pendiente constituye una preocupación central para la sostenibilidad ambiental. La cobertura vegetal y las barreras vivas desempeñan un papel protector fundamental al reducir la escorrentía superficial, disminuir la energía cinética de las gotas de lluvia y estabilizar el suelo mediante los sistemas radiculares. La pendiente del terreno se identificó como uno de los factores determinantes de la aptitud productiva y la vulnerabilidad erosiva en zonas cafeteras con información escasa ⁽¹²⁾. La pérdida de suelo por erosión hídrica no solo reduce la capacidad productiva de las fincas, sino que también genera externalidades negativas aguas abajo, incluyendo la sedimentación de cursos de agua y la pérdida de nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas.

Por consiguiente, la biodiversidad se reconoce como un indicador clave de la sostenibilidad ambiental en los sistemas cafeteros. Los sistemas de café bajo sombra mantienen niveles significativamente superiores de diversidad biológica en comparación con los monocultivos de café al sol, albergando comunidades de aves, insectos y flora nativa que contribuyen a la regulación de plagas, la polinización y el ciclaje de nutrientes. En esta dirección, se documentó que las plantaciones de café bajo sombra mantienen mayores abundancias y diversidad de aves respecto a los bosques naturales en Kenia, resaltando el potencial de estos sistemas como refugios de biodiversidad en paisajes transformados ⁽¹³⁾. Además, se ha demostrado que los sistemas agroecológicos de café presentan mayor resistencia y resiliencia ante eventos climáticos extremos como el huracán María, evidenciando la relación positiva entre diversidad funcional y estabilidad del ecosistema ⁽¹⁴⁾.

En contraste, los sistemas convencionales de monocultivo generan efectos negativos significativos sobre la biodiversidad, simplificando la estructura del agroecosistema y reduciendo los hábitats disponibles para las especies silvestres. La tendencia de intensificación de la producción cafetera, orientada al incremento de los rendimientos mediante la eliminación del dosel de sombra y la mayor utilización de insumos químicos, ha provocado una pérdida acelerada de diversidad biológica en las regiones productoras. Los desafíos de la producción cafetera sostenible han sido analizados señalando que la intensificación convencional compromete los servicios ecosistémicos que sustentan la productividad a largo plazo ⁽¹⁵⁾. Se concluyó también que los sistemas diversificados presentan mayor sostenibilidad y resiliencia frente a las fluctuaciones del mercado y las perturbaciones ambientales ⁽¹⁶⁾.

De igual manera, los sistemas agroforestales se han consolidado como alternativas sostenibles que integran la producción cafetera con la conservación ambiental, generando beneficios múltiples que incluyen el secuestro de carbono, el ciclaje de nutrientes y la mejora del microclima del cultivo. La contribución de nutrientes y el secuestro de carbono en un sistema agroforestal de *Coffea canephora* en la Amazonía ecuatoriana han sido cuantificados, reportando acumulaciones significativas de carbono tanto en la biomasa aérea como en el suelo ⁽¹⁷⁾. La contribución de los sistemas agroforestales de cacao y café al secuestro de carbono a nivel de parcela y paisaje ha sido evaluada, destacando su potencial como estrategias de mitigación del cambio climático ⁽¹⁸⁾. Asimismo, las emisiones de gases de efecto invernadero en café cultivado

bajo sombra y a pleno sol han sido comparadas, encontrando menores huellas de carbono en los sistemas con diversificación arbórea ⁽¹⁹⁾.

En particular, el distrito de Hermilio Valdizán, ubicado en la provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, presenta condiciones geográficas y climáticas que definen un contexto productivo específico para la caficultura amazónica. Situado a una altitud de 1600 m s.n.m., con una temperatura promedio de 20,25°C y precipitaciones que oscilan entre 1500 y 3000 mm anuales, este territorio reúne las condiciones agroecológicas propicias para el cultivo de café arábica de calidad. El contexto local de producción cafetera se caracteriza por la predominancia de pequeños productores organizados en asociaciones que buscan mejorar sus condiciones de mercado y acceso a asistencia técnica. Sin embargo, la presión antrópica sobre los bosques primarios y la limitada adopción de prácticas de conservación de suelos plantean interrogantes sobre la sostenibilidad ambiental de estas unidades productivas ⁽²⁰⁾.

Dada esta situación, las evaluaciones previas de sostenibilidad en regiones cafeteras de Perú y América Latina han proporcionado evidencias valiosas pero insuficientes para caracterizar la realidad local del distrito de Hermilio Valdizán. La sostenibilidad ambiental del cultivo de café en Ecuador ha sido evaluada, identificando brechas significativas entre las dimensiones productiva y ambiental ⁽²¹⁾. Una evaluación de la sostenibilidad socioeconómica y ecológica de los sistemas de producción orgánica y convencional de café en la costa de Oaxaca, México, encontró ventajas ambientales pero desventajas económicas en los sistemas orgánicos ⁽²²⁾. El método PCI fue aplicado para evaluar la sostenibilidad del café en el distrito de La Peca, Bagua, reportando niveles moderados de sostenibilidad que requieren intervención técnica ⁽²³⁾. La necesidad de evaluaciones localizadas que consideren las particularidades ecológicas y productivas de cada zona cafetera resulta imperativa para diseñar estrategias de intervención pertinentes.

¿Cuál es el nivel de sostenibilidad ambiental en la asociación de pequeños caficultores del distrito de Hermilio Valdizán? ¿Qué indicadores presentan mayor vulnerabilidad dentro de las dimensiones evaluadas? ¿Qué prácticas productivas contribuyen significativamente a la sostenibilidad ambiental del sistema cafetero local? Estas interrogantes orientan la presente investigación y surgen de la constatación de que las evaluaciones genéricas de sostenibilidad no capturan la heterogeneidad de condiciones en las que operan los pequeños productores amazónicos. La identificación de indicadores críticos y prácticas favorables constituye un paso esencial para la formulación de políticas de desarrollo rural que articulen la productividad con la conservación ambiental en la ceja de selva peruana ⁽²⁴⁾.

Por lo tanto, el objetivo de la investigación fue evaluar la sostenibilidad ambiental en una asociación de pequeños caficultores de la selva peruana, específicamente en el distrito de Hermilio Valdizán, Huánuco, mediante indicadores de conservación de la calidad del suelo, riesgo de erosión y biodiversidad. Los resultados de esta investigación aspiran a contribuir al diseño de estrategias de manejo sostenible que sean técnicas y económicamente viables para los pequeños productores de la región, así como a la generación de evidencia científica que sustente las políticas públicas orientadas a la promoción de una caficultura ambientalmente responsable en la Amazonía peruana ⁽³⁾.

Materiales y métodos

La investigación se clasifica como descriptiva, transversal y cuantitativa, orientada a caracterizar el nivel de sostenibilidad ambiental en una asociación de pequeños caficultores de la selva peruana. El diseño metodológico se fundamenta en el marco MESMIS (Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales mediante Indicadores de Sostenibilidad), el cual proporciona una estructura sistémica para la evaluación de la sostenibilidad a través de indicadores estandarizados que permiten la comparación entre sistemas de manejo y la identificación de áreas críticas ⁽⁸⁾. Este enfoque metodológico ha sido ampliamente utilizado en evaluaciones de sostenibilidad de agroecosistemas tropicales, demostrando su

pertinencia para el análisis de sistemas productivos cafeteros a escala de finca, donde la integración de múltiples dimensiones resulta fundamental para comprender la complejidad de las interacciones socioambientales.

El diseño de investigación corresponde a un estudio no experimental, descriptivo y transversal, en el cual los datos fueron recolectados en un único punto temporal mediante la aplicación de encuestas estructuradas y observaciones de campo. La selección de este diseño responde al objetivo de obtener una fotografía actual del estado de la sostenibilidad ambiental en las fincas cafeteras de la asociación, sin introducir manipulación deliberada de variables. Los instrumentos de recolección de datos fueron diseñados específicamente para capturar la información requerida por cada uno de los sub-indicadores del marco MESMIS, garantizando la coherencia entre las variables de investigación y los constructos teóricos que sustentan la evaluación de la sostenibilidad ambiental en sistemas agroproductivos de pequeña escala en la región amazónica.

La población estuvo conformada por los pequeños productores cafeteros del caserío José María Ugarteche, distrito de Hermilio Valdizán, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, Perú. La muestra estuvo compuesta por 30 productores seleccionados mediante muestreo intencional, todos ellos miembros activos de la asociación de caficultores local. El criterio de selección intencional se fundamentó en la necesidad de incluir productores con experiencia representativa y compromiso activo con la actividad cafetera, garantizando la calidad y pertinencia de la información recolectada. El tamaño muestral, aunque limitado, es consistente con los alcances de un estudio descriptivo local y permite caracterizar adecuadamente las prácticas y condiciones ambientales predominantes en la asociación.

Se establecieron como criterios de inclusión: ser productores de café activos con al menos tres años de experiencia en la actividad cafetera, ser miembros vigentes de la asociación de caficultores del caserío José María Ugarteche, y residir de manera permanente en la zona de estudio. Los criterios de exclusión comprendieron: productores que hubieran abandonado el cultivo de café, aquellos que no residieran en el área de estudio al momento de la evaluación, y productores que declinaran participar voluntariamente en la investigación. Estos criterios aseguraron que la muestra estuviera conformada por individuos con conocimiento suficiente de las prácticas productivas y condiciones ambientales locales, minimizando el sesgo de información y maximizando la representatividad de los resultados respecto a la población cafetera del distrito.

Se utilizó un cuestionario estructurado con 48 ítems organizados en tres dimensiones: conservación de la calidad del suelo, riesgo de erosión y biodiversidad. Cada sub-indicador fue evaluado en una escala de 0 a 4, donde 0 representa la mínima sostenibilidad y 4 la máxima sostenibilidad. Adicionalmente, se emplearon fichas de observación de campo para el registro de variables ambientales visibles, como la cobertura vegetal, la presencia de cercos vivos y las condiciones del terreno. La recolección de datos secundarios incluyó información climática y edafológica proveniente de fuentes institucionales, complementando la información primaria obtenida a través de los instrumentos principales. La validación de los instrumentos se realizó mediante juicio de expertos en sostenibilidad agrícola y pruebas piloto con productores no incluidos en la muestra final.

Tabla 1. Codificación de indicadores y sub-indicadores de sostenibilidad ambiental

Indicador	Sub-indicador	Escala
(A) Conservación de la calidad del suelo	(A1) Fertilizante sintético	(4) No; (0) Sí
(A)	(A2) Diversificación de cultivos	(4) >4 cultivos; (3) 4 cultivos; (2) 3 cultivos; (1) 2 cultivos; (0) 1 cultivo
(A)	(A3) Incorpora materia orgánica	(4) Sí; (0) No
(A)	(A4) Usa pesticidas	(4) No; (0) Sí
(B) Riesgo de erosión	(B1) Pendiente del terreno	(4) Plano; (2) Medio; (0) Alto
(B)	(B2) Cobertura vegetal	(4) Sí; (0) No

(B)	(B3) Presencia de cercos vivos	(4) Sí; (0) No
(C) Biodiversidad	(C1) Diversidad vegetal	(4) >4 especies; (3) 4 especies; (2) 3 especies; (1) 2 especies; (0) 1 especie
(C)	(C2) Presencia de fauna	(4) Sí; (0) No
(C)	(C3) Árboles nativos	(4) Sí; (0) No
(C)	(C4) Insectos benéficos	(4) Bastante; (2) Poco; (0) Nada

Cada sub-indicador previamente codificado posee una escala de evaluación numérica de 0 a 4, siendo 0 el nivel mínimo de sostenibilidad y 4 el nivel máximo. Los valores de escala fueron reemplazados en la siguiente ecuación para obtener el valor final de sostenibilidad ambiental (SA):

$$SA = ((2A1 + A2 + A3 + A4)/3 + (2B1 + B2 + B3)/4 + (C1 + C2 + C3 + C4)/4)/3 \dots (1)$$

En la ecuación ⁽¹⁾, los coeficientes de ponderación 2 asignados a A1 y B1 reflejan la mayor importancia relativa del uso de fertilizantes sintéticos en la conservación del suelo y de la pendiente del terreno en el riesgo de erosión, respectivamente. Los denominadores 3, 4 y 4 corresponden a la suma de los pesos de cada dimensión: la dimensión A tiene un peso total de 6 (2+1+1+1+1=6, pero normalizado por 3 dado que el coeficiente 2 ya duplica el peso de A1), la dimensión B un peso de 5 (2+1+1+1=5, normalizado por 4), y la dimensión C un peso de 4 (1+1+1+1=4, normalizado por 4). El denominador final 3 corresponde al número de dimensiones evaluadas, otorgando igual peso a cada dimensión en el cálculo del índice global.

El análisis estadístico comprendió estadísticos descriptivos (media, desviación estándar y rango) para cada indicador y sub-indicador de sostenibilidad ambiental. El índice de sostenibilidad se calculó utilizando la fórmula del promedio ponderado de los sub-indicadores correspondientes a cada dimensión, según la ecuación ⁽¹⁾. Los resultados fueron clasificados según la siguiente escala: menor a 2,00 (no sostenible), de 2,00 a 2,99 (moderadamente sostenible), de 3,00 a 3,99 (sostenible) e igual o superior a 4,00 (altamente sostenible). El procesamiento de los datos se realizó utilizando los programas Microsoft Excel y SPSS versión 27, empleando tablas de frecuencias y medidas de tendencia central para la presentación de los resultados.

Se obtuvo el consentimiento informado de todos los participantes antes de la aplicación de los instrumentos de recolección de datos, garantizando que los productores fueran debidamente informados sobre los objetivos, procedimientos y alcances de la investigación. Los datos recolectados fueron anonimizados y utilizados exclusivamente con fines de investigación, respetando la confidencialidad de la información proporcionada por cada participante. El estudio se rigió por los principios éticos para la investigación con sujetos humanos, incluyendo el respeto a la autonomía, la beneficencia y la justicia en la selección de participantes y el uso de los resultados. La investigación no implicó intervención alguna sobre las prácticas productivas de los caficultores, limitándose a la observación y el registro de las condiciones existentes al momento de la evaluación.

Resultados

Conservación de la calidad del suelo

Los resultados de la dimensión de conservación de la calidad del suelo revelan un puntaje promedio de 3,56 sobre 4,00, clasificándose como sostenible según la escala establecida. El análisis de los sub-indicadores muestra que el 55% de los productores no utiliza fertilizantes sintéticos, mientras que el 78% incorpora materia orgánica al suelo de sus parcelas cafeteras. En cuanto al uso de pesticidas, el 62% de los productores refirió no emplear estos insumos químicos, lo cual contribuye positivamente al puntaje de sostenibilidad de esta dimensión. Sin embargo, la diversificación de cultivos emerge como el sub-indicador más crítico, dado que la mayoría de los productores mantiene tres o menos cultivos asociados en sus fincas.

Los resultados respecto a la diversificación de cultivos revelan una vulnerabilidad significativa dentro de esta dimensión. El 55% de los productores mantiene hasta tres cultivos en sus parcelas, mientras que el 27% cultiva únicamente dos especies, lo que evidencia una limitada diversificación productiva que se traduce en el sub-indicador más bajo de toda la evaluación, con un puntaje de 2,78 sobre 4,00. La baja diversificación incrementa la vulnerabilidad ante plagas y fluctuaciones de mercado, comprometiendo la resiliencia del sistema productivo a largo plazo. La dependencia del monocultivo o la escasa diversificación productiva constituye un factor de riesgo que requiere atención prioritaria en las estrategias de intervención técnica.

En cuanto a la interpretación global de la dimensión de conservación del suelo, todos los sub-indicadores se situaron por encima del umbral de 2,00, con excepción de la diversificación de cultivos que, aunque supera este límite, presenta un valor considerablemente inferior al resto. Los sub-indicadores A1 (fertilizante sintético), A3 (incorpora materia orgánica) y A4 (uso de pesticidas) alcanzaron puntajes de 3,78, 3,56 y 3,67, respectivamente, evidenciando un desempeño favorable en las prácticas de manejo edáfico. La Figura 1 presenta los subíndices de sostenibilidad para cada sub-indicador de la dimensión de conservación de la calidad del suelo, evidenciando la disparidad entre los puntajes elevados de los sub-indicadores A1, A3 y A4, y el puntaje relativamente bajo de A2.

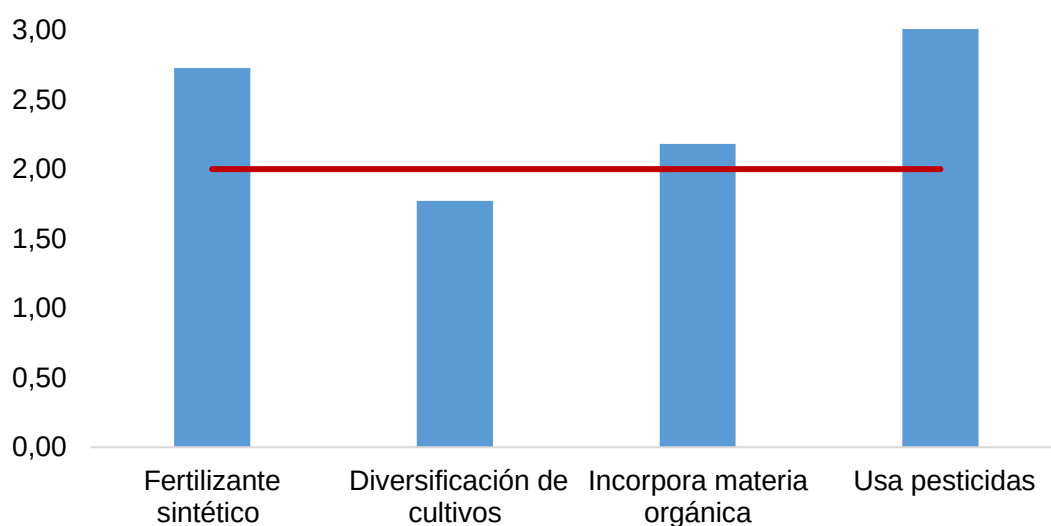


Figura 1. Subíndices de sostenibilidad para la dimensión de conservación de la calidad del suelo.

Nota: A1 (Fertilizante sintético) = 3,78; A2 (Diversificación de cultivos) = 2,78; A3 (Incorpora materia orgánica) = 3,56; A4 (Usa pesticidas) = 3,67.

Riesgo de erosión

La dimensión de riesgo de erosión obtuvo un puntaje promedio de 3,42 sobre 4,00, clasificándose como sostenible. El análisis de los sub-indicadores revela que el 72% de los productores mantiene cobertura vegetal en sus parcelas cafeteras, mientras que el 65% cuenta con cercos vivos que contribuyen a la estabilización del suelo en zonas de pendiente. Las prácticas de conservación de suelos fueron reportadas por el 60% de los evaluados, aunque la pendiente del terreno varía considerablemente entre las fincas, situando a un porcentaje significativo en categorías de moderada a alta vulnerabilidad erosiva. Los resultados sugieren que las condiciones topográficas del distrito representan un desafío permanente para la sostenibilidad ambiental de las fincas cafeteras.

De manera similar, las prácticas tradicionales de conservación observadas en el distrito incluyen el manejo de la cobertura vegetal y la preservación de cercos vivos, las cuales contribuyen a mitigar el riesgo erosivo en las parcelas cafeteras. El sub-indicador de pendiente del terreno obtuvo un puntaje de 2,89, siendo el más

bajo de esta dimensión y clasificándose como moderadamente sostenible, lo que refleja la variabilidad topográfica de las fincas evaluadas. En contraste, la cobertura vegetal alcanzó 3,72 y los cercos vivos 3,56, indicando que las prácticas protectoras del suelo están generalizadas entre los productores. La Figura 2 presenta los subíndices de sostenibilidad para la dimensión de riesgo de erosión, evidenciando que los sub-indicadores de cobertura vegetal y cercos vivos alcanzan los valores más elevados, mientras que la pendiente del terreno presenta mayor variabilidad.

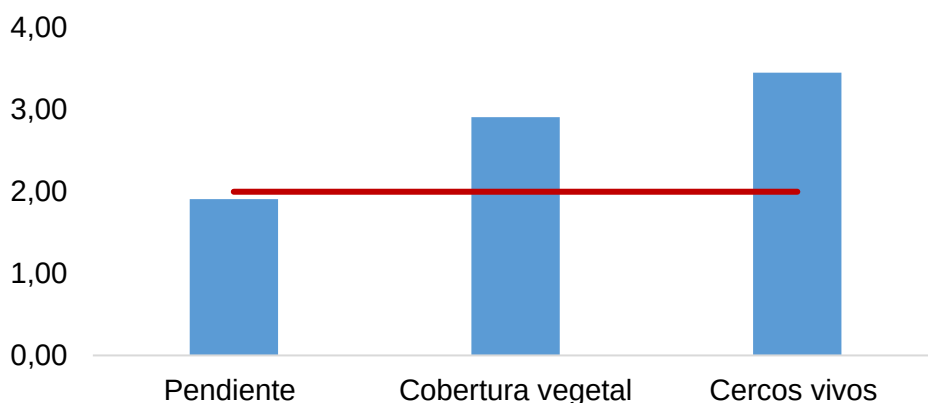


Figura 2. Subíndices de sostenibilidad para la dimensión de riesgo de erosión.

Nota: B1 (Pendiente del terreno) = 2,89; B2 (Cobertura vegetal) = 3,72; B3 (Presencia de cercos vivos) = 3,56

Biodiversidad

La dimensión de biodiversidad obtuvo un puntaje promedio de 3,44 sobre 4,00, clasificándose igualmente como sostenible. Los resultados indican que el 68% de los productores preserva árboles nativos en sus parcelas cafeteras, contribuyendo al mantenimiento de la diversidad vegetal y la provisión de hábitat para la fauna silvestre. El 58% de los evaluados reportó la presencia de insectos benéficos asociados a las prácticas de cultivo bajo sombra, mientras que la diversidad vegetal fue calificada como media a alta en el 62% de las fincas evaluadas. La presencia de insectos benéficos en las parcelas cafeteras indica el mantenimiento de redes tróficas que sustentan servicios ecosistémicos clave como la regulación natural de plagas y la polinización de cultivos asociados.

Adicionalmente, la conservación de árboles nativos y la preservación de la fauna resultan fundamentales para el manejo sostenible de los agroecosistemas cafeteros en la Amazonía peruana. La diversidad vegetal alcanzó un puntaje de 3,44, la presencia de fauna 3,22, los árboles nativos 3,62 y los insectos benéficos 3,12, todos clasificados como sostenibles. La Figura 3 presenta los subíndices de sostenibilidad para la dimensión de biodiversidad, mostrando que la diversidad vegetal y los árboles nativos alcanzan los valores más representativos, mientras que la presencia de fauna presenta mayor variabilidad asociada a las condiciones específicas de cada finca y al grado de intervención antrópica en el paisaje circundante.

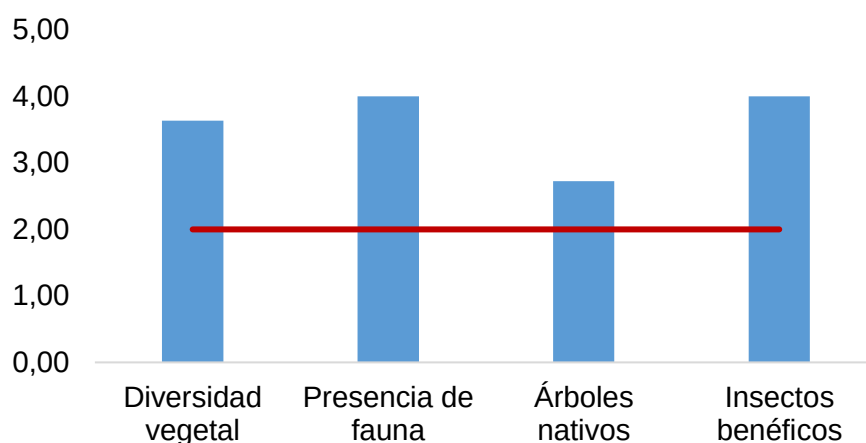


Figura 3. Subíndices de sostenibilidad para la dimensión de biodiversidad.

Nota: C1 (Diversidad vegetal) = 3,44; C2 (Presencia de fauna) = 3,22; C3 (Árboles nativos) = 3,62; C4 (Insectos benéficos) = 3,12.

Sostenibilidad ambiental global

En conjunto, el puntaje global de sostenibilidad ambiental alcanzó un valor de 3,47 sobre 4,00, con un rango que oscila entre 2,22 y 3,98 entre los productores evaluados. Las tres dimensiones se situaron por encima del umbral de sostenibilidad de 3,00, lo cual indica que las fincas de la asociación operan en condiciones ambientalmente sostenibles, aunque con margen de mejora en indicadores específicos. La dimensión de conservación del suelo obtuvo el mayor puntaje (3,56), seguida por biodiversidad (3,44) y riesgo de erosión (3,42). La Tabla 2 presenta los puntajes detallados de cada sub-indicador de sostenibilidad ambiental.

Tabla 2. Puntajes de los sub-indicadores de sostenibilidad ambiental.

Dimensión	Sub-indicador	Puntaje promedio	Desviación estándar	Clasificación
Conservación de la calidad del suelo	A1) Fertilizante sintético	3,78	0,49	Sostenible
Conservación de la calidad del suelo	A2) Diversificación de cultivos	2,78	0,89	Moderadamente sostenible
Conservación de la calidad del suelo	A3) Incorpora materia orgánica	3,56	0,68	Sostenible
Conservación de la calidad del suelo	A4) Usa pesticidas	3,67	0,61	Sostenible
Riesgo de erosión	B1) Pendiente del terreno	2,89	0,98	Moderadamente sostenible
Riesgo de erosión	B2) Cobertura vegetal	3,72	0,52	Sostenible
Riesgo de erosión	B3) Presencia de cercos vivos	3,56	0,72	Sostenible
Biodiversidad	C1) Diversidad vegetal	3,44	0,73	Sostenible
Biodiversidad	C2) Presencia de fauna	3,22	0,81	Sostenible
Biodiversidad	C3) Árboles nativos	3,62	0,55	Sostenible
Biodiversidad	C4) Insectos benéficos	3,12	0,78	Sostenible

Discusión

La síntesis general de los resultados indica que el puntaje de sostenibilidad ambiental de 3,47 sobre 4,00 confirma que las fincas de los pequeños caficultores evaluados operan en condiciones ambientalmente sostenibles, aunque áreas específicas requieren intervención para fortalecer la resiliencia del sistema productivo. Este resultado se alinea con los resultados de estudios similares realizados en regiones cafeteras de América Latina, donde las prácticas tradicionales de cultivo bajo sombra y la limitada intensificación productiva contribuyen a mantener indicadores ambientales favorables ^(21,22). Sin embargo, la variabilidad

observada entre los productores, con puntajes que oscilan entre 2,22 y 3,98, revela una heterogeneidad significativa que sugiere la coexistencia de diferentes niveles de adopción de prácticas sostenibles dentro de la misma asociación. Esta disparidad constituye una oportunidad para promover el intercambio de conocimientos entre productores con distintos niveles de desempeño ambiental.

En efecto, los resultados de conservación del suelo concuerdan con evidencias previas que integraron la diversidad de sistemas cafeteros de pequeña escala en análisis de ciclo de vida, encontrando que las fincas con prácticas orgánicas presentan menores impactos ambientales en las categorías de acidificación y eutrofización ⁽²⁵⁾. Evaluaciones comparativas de ciclo de vida para café convencional y orgánico en Vietnam confirmaron que los sistemas orgánicos generan menores emisiones de gases de efecto invernadero y menor contaminación de aguas ⁽²⁶⁾. Análisis complementarios del ciclo de vida centrados en la producción orgánica y convencional de café concluyeron que los sistemas orgánicos presentan ventajas ambientales significativas, aunque la productividad por hectárea puede ser inferior ⁽²⁷⁾. El puntaje favorable en conservación del suelo refleja la limitada utilización de fertilizantes sintéticos y la generalizada incorporación de materia orgánica observada entre los productores evaluados.

Sin embargo, el sub-indicador de diversificación de cultivos revela una vulnerabilidad preocupante que merece atención prioritaria. Este resultado contrasta con las recomendaciones derivadas del análisis de trayectorias de diversificación en la caficultura, donde se concluyó que los sistemas con mayor diversidad de cultivos presentan mejor desempeño en múltiples dimensiones de sostenibilidad ⁽¹⁶⁾. La dependencia del monocultivo cafetero o la escasa diversificación productiva expone a los productores a riesgos económicos derivados de las fluctuaciones de precios internacionales y a riesgos ambientales asociados a la mayor susceptibilidad a plagas y enfermedades. La baja diversificación ha sido señalada como uno de los principales desafíos de sostenibilidad en las plantaciones cafeteras, recomendándose la integración de cultivos asociados y sistemas agroforestales como estrategias para reducir la vulnerabilidad del sistema productivo ⁽²⁸⁾. La diversificación no solo fortalece la resiliencia ambiental, sino que también contribuye a la seguridad alimentaria y económica de las familias rurales.

Por otro lado, los resultados del riesgo de erosión son consistentes con resultados previos que identificaron la pendiente del terreno como un factor determinante de la aptitud cafetera y la vulnerabilidad erosiva ⁽¹²⁾. Un modelo multicriterio desarrollado para estimar el potencial productivo de *Coffea arabica* basado en la observación de elementos del paisaje encontró que las variables topográficas y de cobertura vegetal son determinantes para la sostenibilidad del sistema ⁽²⁹⁾. El papel protector de la cobertura vegetal y los cercos vivos en terrenos con pendiente se evidencia en los puntajes elevados de los sub-indicadores B2 y B3, los cuales compensan parcialmente la menor puntuación asociada a la pendiente del terreno. La conservación de la cobertura vegetal y la preservación de barreras vivas constituyen prácticas de bajo costo que generan beneficios ambientales significativos en términos de reducción de la escorrentía superficial, incremento de la infiltración y estabilización del suelo mediante los sistemas radicales de las especies arbóreas y arbustivas presentes en las parcelas cafeteras.

Adicionalmente, los resultados sobre biodiversidad concuerdan con evidencias que documentaron que los sistemas de café bajo sombra mantienen comunidades de aves más diversas que los bosques naturales perturbados, resaltando el potencial de estos sistemas como refugios de biodiversidad en paisajes transformados ⁽¹³⁾. Se ha demostrado también que los sistemas agroecológicos de café presentan mayor resistencia y resiliencia ante perturbaciones climáticas extremas, evidenciando la relación positiva entre diversidad funcional y estabilidad del ecosistema ⁽¹⁴⁾. Los sistemas de café bajo sombra evaluados en el distrito de Hermilio Valdizán mantienen niveles apreciables de diversidad vegetal y presencia de insectos benéficos, lo cual sugiere que las prácticas tradicionales de cultivo contribuyen activamente a la conservación de la biodiversidad local. No obstante, la presencia de fauna silvestre mayor se ve limitada por la

fragmentación del hábitat y la presión antrópica en las zonas de amortiguamiento del paisaje cafetero, lo que requiere estrategias de conectividad ecológica a escala de paisaje.

En contraste, la ecoeficiencia de la producción cafetera con certificación de sostenibilidad evaluada en Vietnam encontró que los efectos de la certificación sobre los resultados ambientales varían significativamente según el contexto productivo y las capacidades institucionales de apoyo ⁽³⁰⁾. Este resultado es relevante para el caso peruano, donde la certificación orgánica y de comercio justo ha experimentado un crecimiento significativo pero enfrenta desafíos de implementación derivados de las limitaciones técnicas y económicas de los pequeños productores. La comparación sugiere que la certificación por sí misma no garantiza mejores resultados ambientales, sino que su efectividad depende de las condiciones locales, el acompañamiento técnico y la articulación con políticas de desarrollo rural que promuevan la adopción efectiva de prácticas sostenibles. Los productores evaluados en Hermilio Valdizán operan sin certificaciones formales en su mayoría, lo que indica que las prácticas ambientalmente favorables observadas responden más a la tradición productiva local que a requisitos impuestos por esquemas de certificación externos ⁽¹¹⁾.

No obstante, las tensiones entre viabilidad económica y desempeño ambiental constituyen un desafío persistente para la sostenibilidad de la caficultura de pequeña escala. El análisis crítico de la sostenibilidad agronómica y económica de la producción orgánica de café concluyó que los rendimientos inferiores y los costos de transición limitan la adopción generalizada de prácticas orgánicas ⁽¹⁰⁾. La utilización de biomasa de pulpa de café y su impacto en el ahorro energético, la reducción de emisiones de CO₂ y el valor económico agregado han sido evaluados, encontrando que la valorización de residuos cafeteros puede compensar parcialmente los costos adicionales de la producción sostenible ⁽⁹⁾. La viabilidad económica de la caficultura orgánica depende crucialmente del acceso a mercados premium que reconozcan y compensen los costos ambientales evitados por las prácticas sostenibles, así como de la disponibilidad de asistencia técnica que facilite la transición productiva sin comprometer los ingresos de las familias cafeteras en el corto plazo ⁽³¹⁾.

De manera similar, las oportunidades de economía circular en la cadena cafetera ofrecen vías prometedoras para fortalecer la sostenibilidad ambiental y económica simultáneamente. Las oportunidades de valorización de residuos del café han sido revisadas, identificando múltiples productos de valor agregado derivados de la pulpa, la cáscara y los granos defectuosos que pueden contribuir a la reducción de residuos y la generación de ingresos complementarios ⁽³²⁾. El ciclo de vida de fertilizantes orgánicos y químicos para la producción de café ha sido analizado, demostrando que la sustitución de fertilizantes sintéticos por abonos orgánicos derivados de residuos cafeteros reduce significativamente los impactos ambientales y los costos de producción ⁽³¹⁾. La producción de biochar a partir de residuos de café ha sido investigada, encontrando que este producto puede mejorar las propiedades del suelo contaminado y contribuir al secuestro de carbono, generando beneficios ambientales dobles ⁽³³⁾. Estas alternativas son especialmente relevantes para pequeños productores que buscan reducir su dependencia de insumos externos y mejorar la circularidad de sus sistemas productivos.

En definitiva, los sistemas agroforestales se consolidan como una solución integrada que articula la producción cafetera con la conservación ambiental y la adaptación al cambio climático. Los beneficios ambientales de los sistemas agroforestales de café en la Amazonía han sido cuantificados, reportando contribuciones significativas al secuestro de carbono y al ciclaje de nutrientes ⁽¹⁷⁾. Las emisiones de gases de efecto invernadero en café bajo sombra y a pleno sol han sido comparadas, confirmando las ventajas ambientales de los sistemas diversificados ⁽¹⁹⁾. La contribución de los sistemas agroforestales al secuestro de carbono a nivel de parcela y paisaje ha sido evaluada, destacando su potencial como estrategias integradas de mitigación y adaptación ⁽¹⁸⁾. Estos resultados tienen implicaciones directas para las políticas de desarrollo rural en la Amazonía peruana, donde la promoción de sistemas agroforestales cafeteros puede contribuir simultáneamente a los objetivos de seguridad alimentaria, conservación de la biodiversidad y

reducción de la pobreza rural ⁽³⁾. La articulación de incentivos económicos con asistencia técnica resulta fundamental para escalar estas prácticas y consolidar una caficultura verdaderamente sostenible en la región.

Conclusiones

La asociación de pequeños caficultores del distrito de Hermilio Valdizán opera fincas ambientalmente sostenibles, según lo evidencia el puntaje global de sostenibilidad ambiental de 3,47 sobre 4,00 obtenido en la evaluación. Las tres dimensiones evaluadas —conservación de la calidad del suelo, riesgo de erosión y biodiversidad— se situaron en el rango sostenible, lo que refleja la persistencia de prácticas tradicionales favorables para el ambiente, como la limitada utilización de fertilizantes sintéticos, la incorporación de materia orgánica y el mantenimiento de cobertura vegetal en las parcelas cafeteras. No obstante, ciertos sub-indicadores como la diversificación de cultivos (2,78) y la pendiente del terreno (2,89) requieren atención prioritaria, dado que sus puntajes se ubican en el límite entre lo moderadamente sostenible y lo sostenible, representando vulnerabilidades que pueden comprometer la resiliencia del sistema productivo ante perturbaciones ambientales y económicas futuras.

En consecuencia, los resultados tienen implicaciones directas para la práctica productiva y la formulación de políticas de desarrollo rural en la región. Se requiere la implementación de programas de asistencia técnica focalizados que promuevan la diversificación de cultivos, la transición hacia prácticas orgánicas y el fortalecimiento de los sistemas agroforestales existentes. Los incentivos económicos para la diversificación productiva, incluyendo el acceso a mercados premium para café orgánico y la valorización de los servicios ecosistémicos de las fincas sostenibles, constituyen mecanismos viables para motivar la adopción de prácticas ambientalmente favorables. El fortalecimiento de las capacidades locales de gestión ambiental, a través de la formación de promotores comunitarios y el intercambio de experiencias entre productores con distintos niveles de desempeño ambiental, representa una estrategia complementaria que puede contribuir a reducir la variabilidad observada y elevar los estándares de sostenibilidad del conjunto de la asociación.

Adicionalmente, se identifican varias direcciones para futuras investigaciones que permitan profundizar en la comprensión de la sostenibilidad ambiental en la caficultura amazónica. En primer lugar, se recomienda la realización de estudios longitudinales que permitan evaluar la evolución de los indicadores de sostenibilidad a lo largo del tiempo y el impacto de las intervenciones técnicas implementadas. En segundo lugar, la ampliación del alcance geográfico a otros distritos y provincias cafeteras de la región permitiría establecer comparaciones interregionales y validar la aplicabilidad del marco MESMIS en contextos productivos diversos. En tercer lugar, la integración de las dimensiones social y económica en la evaluación de sostenibilidad proporcionaría una visión más completa del desempeño de los sistemas cafeteros, facilitando la identificación de sinergias y compensaciones entre las diferentes dimensiones del desarrollo sostenible. Por último, la evaluación de estrategias de adaptación al cambio climático en el contexto de la caficultura amazónica constituye una línea de investigación prioritaria dada la vulnerabilidad de estos sistemas ante las variaciones climáticas proyectadas.

Acerca de

Financiamiento: Los autores declaran que la investigación no recibió financiamiento externo de ninguna entidad pública o privada.

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

Certificación ética: El estudio se desarrolló bajo criterios éticos aplicables a la investigación con participantes, resguardando la confidencialidad de la información recopilada.

Historia del artículo: Artículo recibido 17 de junio 2026 | Aceptado 15 de julio 2026 | Publicado 26 de agosto 2026.

Referencias

1. Camará Peruana de Café y Cacao. Estudio de mercado del café peruano. Lima, Perú; 2017. <https://camcafeperu.com.pe/admin/recursos/publicaciones/Estudio-de-mercado-del-cafe-peruano.pdf>
2. Jiménez JOD, Dumont JRD, Huamani JT, Pumapillo JEM, Ortiz CVT. Producción, precios y dinámica de las exportaciones del café peruano. *LLamkasun Rev Investig Científica Tecnológica*. 2021;2(4):99-109. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8245840>
3. MIDAGRI. Lima, Perú: Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego; 2025. Exportaciones de café logran en 2024 alrededor de US\$ 1,100 millones en ventas a casi 60 mercados del mundo. <https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/1097090-midagri-exportaciones-de-cafe-logran-en-2024-alrededor-de-us-1-100-millones-en-ventas-a-casi-60-mercados-del-mundo>
4. de Queiroz VT, Azevedo MM, da Silva IPQ, Costa AV, do Amaral AA, Juvanol RS, et al. Environmental risk assessment for sustainable pesticide use in coffee production. *J Contam Hydrol*. 2018;219:18-27. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169772217303121>
5. Rasool S, Rasool T, Gani KM. A review of interactions of pesticides within various interfaces of intrinsic and organic residue amended soil environment. *Chem Eng J Adv*. 2022;11:100301. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666821122000618>
6. Bunn C, Läderach P, Ovalle OR, Kirschke D. A bitter cup: climate change profile of global production of Arabica and Robusta coffee. *Clim Change*. 2015;129(1-2):89-101. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1306-x>
7. Rahn E, Läderach P, Baca M, Cressy C, Schroth G, Malin D, et al. Climate change adaptation, mitigation and livelihood benefits in coffee production: where are the synergies? *Mitig Adapt Strateg Glob Change*. 2014;19(8):1119-37. <https://doi.org/10.1007/s11027-013-9467-x>
8. Issaly LC, Van Den Bosch ME, Wilson MG, Calvi M. Utilización del método MESMIS en la evaluación de la sustentabilidad. INTA; 2022. p. 23. Report No. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/13599>
9. Rahmah DM, Mardawati E, Kastaman R, Pujianto T, Pramulya R. Coffee Pulp Biomass Utilization on Coffee Production and Its Impact on Energy Saving, CO2 Emission Reduction, and Economic Value Added to Promote Green Lean Practice in Agriculture Production. *Agronomy*. 2023;13(3):904. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030904>
10. Van der Vossen HAM. A critical analysis of the agronomic and economic sustainability of organic coffee production. *Exp Agric*. 2005;41(4):449-73. <https://www.cambridge.org/core/journals/experimental-agriculture/article/critical-analysis-of-the-agronomic-and-economic-sustainability-of-organic-coffee-production/606627F927E03AE422766BAFB48FCFE5>
11. Blanco TEP, De La Rosa MLC, Quintero CYC. Corporate Sustainability in the Coffee Industry: Organic Certification for Small Producers in the Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Sustainability*. 2025;17(24):10975. <https://doi.org/10.3390/su172410975>

12. López DC, Gallegos Á, Palma DJL, Martín GM, Barragán MM, Hernández GV, et al. Selección de tierras para el cultivo de café en zonas con información escasa: análisis espacial del territorio y conocimiento local. *Ecosistemas Recur Agropecu.* 2021;8(1). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-90282021000100006&script=sci_arttext
13. Ong'ondo FJ, Fogarty III FA, Njoroge P, Johnson MD. Bird abundance and diversity in shade coffee and natural forest in Kenya. *Glob Ecol Conserv.* 2022;39:e02296. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351989422002980>
14. Perfecto I, Hajian ZF, Iverson A, Irizarry AD, Lugo JP, Medina N, et al. Response of coffee farms to hurricane Maria: resistance and resilience from an extreme climatic event. *Sci Rep.* 2019;9(1):15668. <https://www.nature.com/articles/s41598-019-51416-1>
15. Krishnan S. Sustainable coffee production. 2015. <https://academic.oup.com/edited-volume/61750/chapter/542853676>
16. Poncet V, van Asten P, Millet CP, Vaast P, Allinne C. Which diversification trajectories make coffee farming more sustainable? *Curr Opin Environ Sustain.* 2024;68:101432. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877343524000198>
17. Tinoco LJ, Vargas YT, Paredes FA, Viera W, Suárez AT, Vargas TT, et al. Nutrient Contribution and Carbon Sequestration of an Agroforestry System of *Coffea canephora* Cultivated by Conventional and Organic Management in the Ecuadorian Amazon. *Forests.* 2024;15(5):807. <https://doi.org/10.3390/f15050807>
18. Cerda R, Deheuvels O, Calvache D, Niehaus L, Saenz Y, Kent J, et al. Contribution of cocoa agroforestry systems to family income and domestic consumption: looking toward intensification. *Agrofor Syst.* 2014;88(6):957-81. <https://doi.org/10.1007/s10457-014-9691-8>
19. Noponen MR, Góngora C, Benavides P, Gaitán A, Hayward J, Marsh C, et al. Chapter 4 - Environmental sustainability—farming in the Anthropocene. En: *The craft and science of coffee.* Elsevier; 2017. p. 81-107. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128035207000049>
20. Garcia AA. Variabilidad climática en la producción y en el rendimiento de *Coffea arabica* L.(café), distrito Hermilio Valdizan, provincia de Leoncio Prado–Huánuco [Tesis de Grado]. [Tingo María – Perú]: Universidad Nacional Agraria de la Selva; 2025. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/a9c3ff0d-8b49-4c17-9fda-5d52b7fc5666>
21. Mosquera DMK. Sostenibilidad ambiental del cultivo de café (*Coffea arabica*) en el Ecuador [Tesis de Grado]. [Babahoyo - Los Ríos – Ecuador]: Universidad Técnica de Babahoyo; 2024. <https://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/16043/E-UTB-FACIAG-%20AGROP-000101.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
22. Maldonado SDV, García AB, Ordóñez LAS, Alvarado JWR, Arévalo EG. Evaluación de la sostenibilidad socioeconómica y ecológica de los sistemas de producción orgánica y convencional del café en la cuenca del Cumbaza. *Rev Amaz Cienc Ambient Ecológicas.* 2023;2(1):e450-e450. <http://revistas.unsm.edu.pe/index.php/reacae/article/view/450>
23. Santamaría NB, Olivos FGR. Evaluación del método PCI para la sostenibilidad del café del distrito de la Peca, Bagua Capital 2022. *Rev Científica Dékamu Agropec.* 2023;4(1):80-9. <https://doi.org/10.55996/dekamuagropec.v4i1.143>

24. Quiroz IG, Pérez AV, Landeros CS, Gallardo FL, Velasco JV, Benítez GB. Capacidad de resiliencia del agroecosistema café en Tezonapa, Veracruz, México. *Agron Mesoam*. 2024;35(1). <https://doi.org/10.15517/am.2024.55146>
25. Acosta IA, Boissy J, Chia E, Andrieu N. Integrating diversity of smallholder coffee cropping systems in environmental analysis. *Int J Life Cycle Assess*. 2020;25(2):252-66. <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01689-5>
26. Trinh LTK, Hu AH, Lan YC, Chen ZH. Comparative life cycle assessment for conventional and organic coffee cultivation in Vietnam. *Int J Environ Sci Technol*. 2020;17(3):1307-24. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02539-5>
27. Hasan Y, Roy P, Abbassi B. Comparative Life Cycle Assessment (LCA) in the Agri-Food Industry, Focusing on Organic and Conventional Coffee. *Sustainability*. 2024;16(24):10819. <https://doi.org/10.3390/su162410819>
28. Velmourougane K, Bhat R. Sustainability Challenges in the Coffee Plantation Sector. En: Bhat R, editor. *Sustainability Challenges in the Agrofood Sector*. 1.^a ed. Wiley; 2017. p. 616-42. <https://doi.org/10.1002/9781119072737.ch26>
29. Cunha JEF, Martins GD, Fraga Júnior EF, Camboim SP, Bravo JVM. A Multicriteria Model for Estimating *Coffea arabica* L. Productive Potential Based on the Observation of Landscape Elements. *Agriculture*. 2023;13(11):2083. <https://doi.org/10.3390/agriculture13112083>
30. Ho TQ, Hoang VN, Wilson C, Nguyen TT. Eco-efficiency analysis of sustainability-certified coffee production in Vietnam. *J Clean Prod*. 2018;183:251-60. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618304608>
31. Rahmah DM, Putra AS, Ishizaki R, Noguchi R, Ahamed T. A Life Cycle Assessment of Organic and Chemical Fertilizers for Coffee Production to Evaluate Sustainability toward the Energy–Environment–Economic Nexus in Indonesia. *Sustainability*. 2022;14(7):3912. <https://doi.org/10.3390/su14073912>
32. Lee YG, Cho EJ, Maskey S, Nguyen DT, Bae HJ. Value-Added Products from Coffee Waste: A Review. *Molecules*. 2023;28(8):3562. <https://doi.org/10.3390/molecules28083562>
33. Carnier R, Coscione AR, Delaqua D, Puga AP, de Abreu CA. Jack Bean Development in Multimetal Contaminated Soil Amended with Coffee Waste-Derived Biochars. *Processes*. 2022;10(10):2157. <https://doi.org/10.3390/pr10102157>