



El Potencial de la Agroforestería para Mitigar la Pérdida de Biodiversidad en Paisajes Degradados

The Potential of Agroforestry to Mitigate Biodiversity Loss in Degraded Landscapes

O potencial da agrofloresta para mitigar a perda de biodiversidade em paisagens degradadas

Fernando Javier Morejón Troya ^I
fmorejon@uagraria.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0001-7568-6655>

Kevin Daniel Gómez Gómez ^{II}
kgomez@uagraria.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-6011-6222>

Ricardo Andrés Viera Aguilera ^{III}
Rviera@uagraria.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0002-6601-4854>

Fernando Eduardo Bermeo Pesantes ^{IV}
fbermeo@uagraria.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0007-0438-3626>

Humberto Robinson Gavilanes Muñoz ^V
hgavilanes@uagraria.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0002-6518-6072>

Correspondencia: fmorejon@uagraria.edu.ec

Ciencias de la Educación
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 26 de julio de 2025 * **Aceptado:** 24 de agosto de 2025 * **Publicado:** 12 de septiembre de 2025

- I. Universidad Agraria del Ecuador, Ecuador.
- II. Universidad Agraria del Ecuador, Ecuador.
- III. Universidad Agraria del Ecuador, Ecuador.
- IV. Universidad Agraria del Ecuador, Ecuador.
- V. Universidad Agraria del Ecuador, Ecuador.

Resumen

La investigación se centró en la posibilidad de que la agroforestería ayude a solucionar la pérdida de biodiversidad en paisajes degradados y países en vías de desarrollo, dentro de sus efectos ecológicos, productivos y socioambientales a través de un enfoque cuantitativo comparado. Se llevó a cabo un muestreo de 30 fincas (15 agroforestales y 15 de manejo convencional) en diferentes regiones de Ecuador donde se aplicó una batería de encuestas, inventarios de flora y fauna, mediciones biofísicas, y se realizaron análisis estadísticos posteriores como MANOVA, PCA y regresión múltiple. Si bien con las metodologías no se encontraron diferencias marcadas en los índices ecológicos entre sistemas, los agroforestales tenían una mayor equitatividad en la distribución de especies y una comunidad estructural más estable. A partir de estos resultados se distinguieron, como componentes de sostenibilidad, dotación de servicios ecosistémicos junto con la socio-productiva: el rendimiento y seguridad alimentaria. Además, el índice de servicios ecosistémicos fue el más relevante del índice de Shannon y la conectividad ecológica se relacionó negativamente con el rendimiento, sugiriendo la tensión entre conservación y productividad. Por último, la agroforestería resulta ser una solución efectiva para integrar la recuperación de paisajes degradados mediante la conservación, funcionalidad y bienestar rural.

Palabras Clave: Servicios Ecosistémicos; Conectividad de Paisaje; Sistemas Silvopastoriles; Indicadores de Sostenibilidad; Producción Resiliente.

Abstract

The research focused on the potential for agroforestry to address biodiversity loss in degraded landscapes and developing countries, addressing its ecological, productive, and socioenvironmental impacts through a comparative quantitative approach. A sample of 30 farms (15 agroforestry and 15 conventionally managed) was conducted in different regions of Ecuador. A battery of surveys, flora and fauna inventories, biophysical measurements, and subsequent statistical analyses such as MANOVA, PCA, and multiple regression were applied. While no marked differences in ecological indices were found between systems using the methodologies, agroforestry systems had greater equitable species distribution and a more stable community structure. Based on these results, the following components of sustainability were identified: the provision of ecosystem services, along with socio-productive aspects: yield and food security. Furthermore, the ecosystem services index was the most relevant indicator of the Shannon index,

and ecological connectivity was negatively related to yield, suggesting a tension between conservation and productivity. Finally, agroforestry proves to be an effective solution for integrating the restoration of degraded landscapes through conservation, functionality, and rural well-being.

Keywords: Ecosystem Services; Landscape Connectivity; Silvopastoral Systems; Sustainability Indicators; Resilient Production.

Resumo

A investigação centrou-se no potencial da agrofloresta para lidar com a perda de biodiversidade em paisagens degradadas e países em desenvolvimento, abordando os seus impactos ecológicos, produtivos e socioambientais através de uma abordagem quantitativa comparativa. Uma amostra de 30 explorações (15 agroflorestais e 15 de gestão convencional) foi conduzida em diferentes regiões do Equador. Foram aplicadas uma série de levantamentos, inventários de flora e fauna, medições biofísicas e análises estatísticas subsequentes, como MANOVA, PCA e regressão múltipla. Embora não tenham sido encontradas diferenças acentuadas nos índices ecológicos entre os sistemas que utilizaram as metodologias, os sistemas agroflorestais apresentaram uma distribuição de espécies mais equitativa e uma estrutura comunitária mais estável. Com base nestes resultados, foram identificados os seguintes componentes da sustentabilidade: a prestação de serviços de ecossistemas, juntamente com aspetos socioprodutivos: produtividade e segurança alimentar. Além disso, o índice de serviços dos ecossistemas foi o indicador mais relevante do índice de Shannon, e a conectividade ecológica relacionou-se negativamente com a produtividade, sugerindo uma tensão entre conservação e produtividade. Por fim, a agrofloresta revela-se uma solução eficaz para integrar o restauro de paisagens degradadas através da conservação, funcionalidade e bem-estar rural.

Palavras-chave: Serviços de Ecossistemas; Conectividade da Paisagem; Sistemas Silvopastoris; Indicadores de Sustentabilidade; Produção Resiliente.

Introducción

La creciente demanda para conseguir alimentos, fibra, leña y otros productos forestales sin causar daños en el ambiente ha resucitado el interés de la agroforestería entre los biólogos de la conservación. La agroforestería, la práctica de integrar árboles y arbustos en paisajes agrícolas y

ganaderos, puede disminuir la degradación de los hábitats y la pérdida de biodiversidad asociada. Sin embargo, sus efectos varían entre los organismos y paisajes. Los científicos necesitaban reconstruir un modelo cuantitativo que demostrara cómo interactúan diferentes variables bióticas (Rodríguez & Leiton, 2021).

Posiblemente, la primera forma de agroforestería que se haya convertido en paisajes productivos y sostenibles, cuya infraestructura vegetal fue diseñada, establecida o restaurada por el ser humano, es la que se implantó en zonas áridas y semiáridas de zonas intertropicales. La diversificación de estos bosques ha permitido a los agricultores y a los ganaderos, en general, mejorar sus condiciones de vida. Más recientemente, se ha demostrado que las prácticas agroforestales bien diseñadas pueden ser parte de las soluciones propuestas para las zonas montañosas, muy vulnerables a la degradación y desertización (Mena et al., 2023).

El inventario de los conocimientos sobre AI en relación con la producción agropecuaria en América Latina es todavía muy limitado. Contamos con un conjunto importante de estudios llevados a cabo principalmente en sistemas campesinos en México, América Central, Bolivia, Ecuador y Perú, en los que se ha utilizado información recopilada sobre los aspectos biofísicos-naturales, los procesos socioeconómicos y, en algunos casos, los ambientes culturales e institucionales de la comunidad y de las unidades de producción según un universo muestral. Cada caso particular ha variado en términos de los niveles de análisis definidos: agroecosistema, unidad doméstica-agropecuaria y unidad doméstica principal. Su metodología ha sido una combinación de la sistematización y análisis de información proveniente de diversos niveles de análisis social y ambiental cuantitativo, e investigaciones participativas y comparativo-deductivo de experiencias transformadoras, interactuando agricultores, técnicos e investigadores, y ha incluido tanto investigaciones de corto como de mediano plazo que permitieron captar e incidir en el cambio (Marroquín et al., 2022).

La agroforestería es una práctica que combina la agricultura y la forestación para rehabilitar paisajes degradados y mejorar la calidad de vida de las personas. En Ecuador, se están promoviendo proyectos de cultivo de frutales y árboles maderables como una solución para captar a agricultores interesados en implementar esta técnica. El objetivo es incrementar la superficie dedicada a la agroforestería en 100,000 hectáreas en un periodo de 15 años. Esta iniciativa busca no solo revitalizar los ecosistemas deteriorados, sino también generar oportunidades económicas y sociales para las comunidades rurales. A través de la agroforestería, se promueve la diversificación de cultivos, la protección del suelo, la conservación de la biodiversidad y la mitigación del cambio

climático. Además, se fomenta la producción sostenible de alimentos y productos maderables, contribuyendo así al desarrollo sostenible del país. Con la implementación de estos proyectos, se espera no solo mejorar la productividad agrícola, sino también fortalecer la resiliencia de las comunidades frente a los desafíos ambientales y socioeconómicos. En resumen, la agroforestería se presenta como una solución integral y prometedora para rehabilitar paisajes degradados y garantizar un futuro más sostenible para Ecuador (Farinango, 2021).

El objetivo de esta investigación es analizar el potencial de la agroforestería como una estrategia integral para mitigar la pérdida de biodiversidad en paisajes degradados, mediante la integración de árboles y arbustos en sistemas agrícolas y ganaderos, evaluando sus efectos en la conservación de los ecosistemas, la mejora de la productividad rural y la resiliencia socioambiental. A partir del estudio de experiencias en América Latina, particularmente en zonas áridas, semiáridas y montañosas, se busca demostrar cómo las prácticas agroforestales pueden contribuir simultáneamente a la restauración ecológica y al desarrollo sostenible, generando beneficios tanto ambientales como económicos para las comunidades rurales.

Revisión

La agroforestería interviene para incrementar la biodiversidad, la productividad y la diversificación a nivel de la granja, pensando en el manejo óptimo de los diferentes recursos disponibles como la tierra, el agua, la biomasa y el hombre. La agroforestería se basa en cinco principios esenciales: el enriquecimiento y obraje de los sistemas silvopastoriles para asegurar la sostenibilidad; la diversificación para incrementar la resiliencia y la minimización de riesgos a nivel de la granja; el restablecimiento de los equilibrios naturales; el manejo sostenible de los sistemas agroforestales, y la participación y el empoderamiento de los pequeños productores o productores locales. La asociación de árboles y cultivos y/o animales en especial relación recíproca puede proveer del DAP ese producto que actualmente no se ofrece. Por ejemplo, en un café y maíz de algún lugar que es el alimento del ganado, se pudiera promover la agroforestería brindando la oportunidad para dar una sombra duradera a través de la leucaena, entre cuyas ventajas tendríamos el suministro de nitrógeno al suelo (Parrales, 2022).

Los sistemas agroforestales se pueden considerar como paisajes complejos configurados por pequeños elementos que se alejan del concepto de asociación y configuran un mosaico complejo ecológicamente hablando y socialmente determinado. Los sistemas agroforestales generalmente

forman parte del paisaje rural andino donde potencian procesos de diversificación de la producción y aumentan la sostenibilidad en los diferentes escalones altitudinales. El DAP puede provenir de arbustos, árboles, plantas epífitas y animales terrestres y aéreos. La agroforestería potencia diversos procesos como los de polinización, los de dispersión que son claves por sí solos, es un vivero ex situ o fuente de alimento suplementario, la depredación y parasitismo natural entre otros servicios, solo por mencionar algunos usos de recursos fundamentales para la agricultura y a nivel local es un bien básico en cualesquiera de sus usos, local o de mercado (Caicedo, 2020).

Beneficios Ambientales y Socioeconómicos

La agroforestería beneficia enormemente la biodiversidad en los paisajes agrícolas, ya que aporta una gran cantidad de biomasa orgánica. Esto resulta en numerosos beneficios, como la mejora del flujo de agua y la creación de hábitats heterogéneos que albergan una amplia variedad de formas de vida. Además, la agroforestería fomenta el establecimiento de relaciones simbióticas entre diferentes organismos, lo que contribuye a un equilibrio ecológico. Asimismo, proporciona hábitats estables para los residuos de desechos, garantizando un manejo adecuado y sostenible de los mismos. Todas estas características hacen de la agroforestería una práctica fundamental para la conservación de los ecosistemas y la protección de la naturaleza (Sarandón, 2020).

Importancia de la Biodiversidad en Paisajes Degradados

Pérdida de Biodiversidad

En la actualidad, más del 50% de los hábitats terrestres de la Tierra está directa o indirectamente afectado por el ser humano. La caza y pesca insostenible, la introducción de especies exóticas invasoras, los cambios en el uso del suelo y la sobreexplotación de los recursos naturales, el estrés climático y la contaminación son algunas de las principales presiones humanas a las que se enfrentan las especies y los ecosistemas. Si todas estas presiones se mantienen en los niveles actuales o aumentan, en el año 2050 más de tres cuartas partes de los hábitats terrestres de la Tierra habrán sido alterados (Egarter et al., 2021).

El cambio en el uso del suelo y la deforestación o degradación de los hábitats naturales es la principal causa de declive de las especies de aves a nivel global. Sin embargo, la conversión de biomas naturales en sistemas agrícolas, por ejemplo, también tiene un impacto negativo en la integridad ecológica de los paisajes, con la subsecuente pérdida de biodiversidad y alteración en la provisión de servicios, destacando la regulación hídrica, calidad del agua, captura de carbono y belleza escénica. Esta crisis se debe al crecimiento demográfico, al aumento de los volúmenes de

comercio, transporte y turismo y por la demanda de energía y de recursos, todo ello con un impacto negativo en el uso y manejo de los recursos naturales (Hilty et al., 2020).

Causas de la Pérdida de Biodiversidad en Paisajes Degradados

En la actualidad se estima que el 75% de los paisajes europeos se encuentran degradados. La principal causa de pérdida de la biodiversidad en los paisajes degradados de Europa y en todo el mundo ha sido la expansión de la agricultura. En Europa, el 25% de los paisajes naturales se han transformado en tierras agrícolas y nuevas infraestructuras. Este problema no es exclusivo de Europa; a nivel global, el 25% de las áreas naturales y la mitad de los humedales han caído en el abandono agrícola y aún están en fase de degradación (D. M. Ruiz et al., 2023).

Una vez que la cubierta forestal original ha sido eliminada, los ecosistemas restantes son ecológicamente más sensibles y, por tanto, propensos a responder de manera desproporcionada a cualquier cambio en el uso, manejo y extracción de los recursos naturales, tales como la sobreexplotación de los recursos naturales o un cambio en el manejo del suelo. Además, la fragmentación del hábitat provocada por los diferentes procesos degradatorios y la pérdida de conectividad entre los fragmentos forestales reducen el potencial de regeneración natural de la cubierta arbórea original y limitan la movilidad de un bosque a otro. Las especies que notaron pérdidas del bosque son atribuidas, en gran parte, a la fragmentación del paisaje asociada con el sobrepastoreo o la cosecha de madera. También, la fragmentación de los bosques ha sido notada como significativamente asociada con una disminución del número de especies de fauna y de flora, con pérdida de vegetación forestal prístina, resultando en la disminución de los bosques, especies que son vulnerables a los depredadores, a competidores y a los cambios estocásticos del medio ambiente (Santelices et al., 2020).

Interacciones entre Agroforestería y Biodiversidad

Cubierta natural y, algunas veces, por la de los cultivos. Aquellas de mayor tamaño, o con particularidades botánicas, albergan una cuantiosa biodiversidad que se distribuye entre la copa de los árboles, en la capa herbácea bajo las copas de los árboles, entre los cacaotales o sisales, como la caza, ganadería, apicultura, y si es un espacio con particularidades edáficas y hídricas, cultivos muy especializados. En este caso, tendrían que afinar la ganadería y la caza, ya que se afectarían el cultivo y la biodiversidad o aprovechar a nivel de huertas de autoconsumo. La agroforestería cumple una función ecológica de vital importancia, dada la tendencia cada vez mayor a perder la biodiversidad y la fertilidad del suelo; por tanto, brinda una opción de producción para mejorar la

productividad, industrialización, comercialización y economía de los pequeños productores y, por otro lado, nos asegura (Sáenz et al., 2023).

Un manto arbóreo natural, recuperado, reforestado o sembrado, se convierte en un hábitat óptimo para que se asilen un gran número de especies de flora, vertebrados e invertebrados, que encontrarán las condiciones apropiadas de humedad, sombra suficiente, clima y suelo, que permitirán el desarrollo de otras cadenas sociales naturales, que no se darían en un cultivo a pleno sol. Todo lo anterior cumple con los objetivos de preservación de un banco natural y con la estrategia de proporcionar alimento, cobijo, agua, refugio y reproducción a un amplio abanico de fauna benéfica que nuevamente desempeñará su papel en el equilibrio ecológico. Las plantas arvenses son útiles a algunas especies de aves, como algunas palomas, loros y otras, que al llenar sus barrigas, actúan ocasionalmente como sembradoras de diversas especies de plantas. A su vez, las plantas de sombrero son presas de diversos escarabajos, equilibran la población de algunas cucarachas con una parcialidad terrestre en las hojas muertas, que serán alimento de las ocho especies conocidas de escarabajos que se alimentan de ellas (Neri et al., 2023).

Beneficios de la Agroforestería para la Biodiversidad

A partir de los años 80 del siglo XX aparecieron importantes estudios que mostraron cómo la agroforestería puede ofrecer material vegetal, vegetación heterogénea y diversificación de nichos para múltiples especies de fauna salvaje. Adicionalmente, la agroforestería permite a los productores obtener ingresos o servicios gracias a la biodiversidad asociada a los diferentes estratos arbóreos, arbustivos y herbáceos que se encuentran en estas formaciones agroforestales. Tal y como desarrollaremos en este capítulo, la mayor diversidad de ambientes y el aumento de conexiones ecológicas de los principales núcleos de vegetación mejoran las posibilidades de funcionamiento del sistema ecológico y, en última instancia, maximizan el servicio ecosistémico relativo a la biodiversidad (Tipan, 2024).

La hipótesis que plantea el presente trabajo sobre los agroecosistemas destinados a la producción de alimentos es que estos constituyen sistemas ecológicos bastante más complejos que la sociedad científica y tecnológica reconoce, debido a la implantación de fórmulas intensivas en energía externa y aparentemente atractivas pero ineficientes desde el punto de vista de los servicios ecosistémicos generados. A lo largo de este capítulo se analizará en detalle dicha complejidad y se desarrollará en detalle el potencial de la biodiversidad existente en los sistemas agroforestales de montaña para ofrecer numerosos servicios ecosistémicos, incluyendo la mitigación de problemas

importantes de degradación, la promoción de la diversificación del paisaje y del empleo de fuentes de agua y de regulación hídrica, la conservación de una biodiversidad silvestre ya seriamente amenazada, y la generación y acumulación de materia orgánica en el sistema y funcional importancia en la regulación del clima local (Tapia, 2020).

Herramientas y Buenas Prácticas en Agroforestería para la Conservación de la Biodiversidad

Y los resultados han sido verdaderamente notables. Por ejemplo, en las grandes zonas cafeteras de Asia, el sistema que mayor extensión ocupa es una especie de agrosilvopastoril que constituye un hábitat provisional para la casi extinta fauna local. Inclusive, se tienen reportes de un incremento en densidad, dado que poseen funciones vitales. Como, por ejemplo, en la India, la aparición de arbolitos en áreas desprotegidas de las selvas tropicales, debido a la simbiosis agroforestal, se ha observado una mejora en la población (Huerta, 2021).

Este éxito no solo proviene de la clausura del sistema, sino también de una conexión con el entorno arbolado consolidado. Los subproductos del sistema agroforestal entran en la cadena trófica de los otros hábitats, como son los frutos de los árboles. Las especies del agro sistema también desempeñan ese papel, pero además se observa una ganancia cuantitativa debido a la participación de otras especies que utilizan el clausurado como principal, complementos o transicionales, como por ejemplo las imperiales manchadas que entran a las plantaciones de árboles maderables desde sus áreas de caza. Entonces, ¿qué es lo importante conservar? Es difícil encontrar una respuesta certera. Para unos, la conservación de la fauna silvestre; para otros, de los recursos genéticos; de los servicios ambientales que proveen los árboles. En fin, múltiples factores hacen conveniente este tipo de sistemas. En Colombia, del total de plantas útiles para múltiples servicios que están dentro de los bosques andinos de piso temperado, el sistema agroforestal de huertas proporcionó el 54 % de las especies de plantas culturales, arbóreas y animales silvestres (P. Ruiz et al., 2022).

Diseño de Sistemas Agroforestales Diversificados

Diseñar un sistema puede parecer algo complejo e inalcanzable; sin embargo, el presente texto tiene como objetivo principal mostrar al productor la articulación de diversas actividades de producción agropecuaria, así como forestales, que, en conjunto, pueden llevar a la realización de un SAF. Este tema, a grandes rasgos, puede resultar completo o complejo debido a la gran cantidad de interacciones que se pueden dar entre los componentes de un sistema. Sin embargo, dos sencillos ejercicios pueden dar claridad al productor para empezar a diseñar un SAF en su finca, teniendo en cuenta los aspectos previamente expuestos. Los pasos evidentes para el diseño de un SAF incluyen

la selección de techos, la determinación del espaciamiento del sistema y la selección de las especies adecuadas. Al diseñar un SAF, el productor debe seguir unos simples, pero en conjunto, rigurosos pasos para evitar hacer una compleja secuencia de actividades sin sentido: (a) selección de techos, que básicamente comprende identificar los componentes de beneficio a homologar en el tiempo; (b) una escala de arreglos de poblaciones, que apunte a ser amigable con la expresión afectiva del productor; y (c) colocación del sistema en el espacio proyectado. Es claro que dentro del diseño del SAF, la sombra y los pastos deben manejarse mediante otros métodos, que incluyen posiblemente la siega en los pastos y el control de malezas (Ramos et al., 2023).

Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades

La utilización del modelo SAF se caracteriza por la producción mixta de especies leñosas, a menudo utilizadas en agricultura o como fuente de combustible, junto con cultivos y/o especies herbáceas. La contribución de los SAF a la mitigación de la biodiversidad es esencial para el control y regulación de plagas y enfermedades de cultivos y otros árboles y arbustos del sistema. Se ha demostrado que una mayor diversidad de hábitats proporcionados por los árboles asociados en el SAF fomenta las poblaciones de insectos beneficiosos y depredadores de plagas, reduciendo así el riesgo de daños graves por dichos insectos, mientras que la presencia de malezas atacadas por insectos proporciona alimento adicional para los depredadores en los SAF, mejorando así el manejo de insectos plaga. Los datos agregados muestran que una mayor riqueza de plantas hospederas asociadas con los SAF también se asocia con menos impactos mensurables en los árboles del árbol. Al hacerlo, la práctica del manejo integrado de plagas y enfermedades ha demostrado ser eficaz y ha conducido a una reducción más sostenible de la presión de control utilizada en los sistemas de producción agroforestal. El manejo integrado de plagas y enfermedades reemplaza, en lo posible, el uso de productos fitosanitarios químicos con plaguicidas biológicos o de origen natural, y con esta filosofía de manejo se permite lograr una disminución en el número de aplicaciones de agroquímicos, altos niveles de agroecosistema y de controladores de plagas (Matevski et al., 2024).

Desafíos y Oportunidades Futuras en la Implementación de Agroforestería para la Conservación de la Biodiversidad

Implementación sistemática y cuantificación de los beneficios de la agroforestería Uno de los grandes desafíos de la implementación de sistemas agroforestales es la falta de implementación sistemática y las medidas exactas del efecto de la agroforestería en la conservación de la biodiversidad y otros servicios ecosistémicos. También su implementación sistemática no es

común fuera del tema de créditos de carbono de los sistemas silvopastoriles en pequeña escala. Esto puede deberse a la incertidumbre que rodea las prácticas agroforestales como una alternativa viable para los agricultores. Los esfuerzos de investigación futuros deben centrarse en el desarrollo de enfoques claros y sistemáticos para la implementación y la medición de los beneficios derivados de la agroforestería que sean fáciles de entender y validar para fomentar la adopción de estas prácticas. Aunque la evidencia de los beneficios de la agroforestería ha aumentado en años recientes, aún hay mucha incertidumbre en los sectores productivos y los subsectores conservacionistas (Cañas et al., 2024).

Iniciativas de conservación de paisajes largos En los últimos años ha crecido el número de iniciativas internacionales y nacionales destinadas a aumentar la cobertura de la agroforestería como una estrategia para reducir la deforestación y mitigar el cambio climático, mejorando al mismo tiempo los medios de vida y la seguridad alimentaria de locales. Sin embargo, muchos de estos proyectos son pilotos o están limitados a un pequeño número de granjas, pueblos o regiones. Pocos están en camino de financiar o implementar la agroforestería a la escala necesaria a nivel de paisaje, país e incluso región. Una estrategia clave para superar este desafío que redunde en el tamaño y escala limitados del impacto de la agroforestería en la deforestación y el cambio climático, así como en muchos otros beneficios, es apoyar la implementación de los enfoques de paisaje y la planificación en múltiples escalas (Verdezoto et al., 2023).

Aspectos Políticos y Legales

La realización de diferentes actividades agroforestales puede facilitarse si se crea un régimen legal llevadero. La tipificación de enclaves y actividades agroforestales debe introducirse en las normas reguladoras de la propiedad territorial, especialmente en su registro catastral. El arbocultor o "cultivador de árboles" puede adquirir la propiedad producida o en cualquier momento, conservando el dominio del suelo agrícola y el restante o subacuático en el aprovechamiento exclusivo de la vegetación; incluso puede excluir de la adquisición las plantas, cuya propiedad rige un régimen distinto. Así se logra un mayor acceso a la propiedad y la conservación de las tierras de cultivo, evitando su erosión o expansión forestal, enriqueciendo la economía rural con explotaciones agrarias complejas, oportunas para esta agricultura de montaña e importantes para fomentar el cultivo de las regiones altas (Barcelona, 2021).

La realización de distintas actividades agroforestales puede facilitarse si se crea un régimen legal llevadero. En la Comunidad Valenciana se da el caso de los regímenes propios de los árboles

frutales, y dentro de estos la tipificación de diferentes plantas; puede cambiarse el suelo de una propiedad a otra mediante la denominada enguilla. Así, en nuestro territorio, las normas para determinar si una propiedad es forestal o agrícola se regulan por la superficie de cultivo, pudiendo ser de incluida a excluida del rústico. De otro lado, la tipificación de enclaves y actividades debe introducirse en las normas reguladoras de la propiedad territorial, especialmente en su registro catastral (Rivera, 2023).

Innovación Tecnológica y Financiamiento

Innovación Tecnológica

Con el propósito de desarrollar, difundir e incentivar el establecimiento y manejo agroforestal en paisajes de interés priorizado, se llevarán a cabo actividades de investigación e innovación tecnológica. Al respecto, el proyecto identificará y validará, al menos 50 iniciativas innovadoras relacionadas con: • El manejo de recursos naturales. • La competitividad de actividades económicas o productos. • La valoración de servicios ecosistémicos en el paisaje, orientado a disminuir la vulnerabilidad y riesgos en la producción agropecuaria o en la generación de empleo y en manejo sostenible de la conservación de la biodiversidad. Estas actividades se realizarán a través de la implementación de treinta proyectos de investigación, desarrollo e innovación realizados por el consorcio científico del proyecto. Se desarrollarán cuatro componentes experimentales principales y simultáneos (Girão et al., 2023).

Además, se propone promover la técnica denominada “Transferencia de la Metodología del Desarrollo Local” en los municipios de la cuenca. Dicha técnica incorpora una serie de elementos, que, si bien no son nuevos, han sido escalados para el campo de la extensión agrícola de manera innovadora y son altamente efectivos para el desarrollo rural. Los elementos que incluye son, por cierto, la mayoría de ellos fundamentales en toda metodología de trabajo: La TLODV hace énfasis en la realidad socio-territorial, reconoce la variada complejidad presente en cada región y la diversidad de subregiones. Rechaza el principio del infierno o Inés que el extensionista debe saberlo todo y de considerar los conocimientos y opiniones tan solo del nivel central de la organización.

Metodología

La agroforestería tiene un gran potencial para mitigar la pérdida de biodiversidad en paisajes degradados. Esta fue la discusión central del análisis comparativo cuantitativo explicativo realizado en este estudio donde se compararon granjas con sistemas agroforestales y convencionales. Se

utilizó un enfoque cuasi-experimental con grupos independientes y se tomó una muestra no probabilística intencionada de 30 unidades productivas (15 agroforestales y 15 convencionales) en áreas rurales degradadas de las regiones interandinas y tropicales de Ecuador. La recolección de datos incluyó encuestas estructuradas, inventarios de flora y fauna, mediciones biofísicas y observaciones directas en campo que capturaron variables ecológicas (riqueza de especies, índices de diversidad, densidad de árboles, cobertura del sotobosque, conectividad ecológica), productivas (rendimiento agrícola), de resiliencia socioambiental (acceso a recursos, seguridad alimentaria, percepción del cambio climático) y variables espaciales de altitud, pendiente y distancia a fuentes de agua. Se realizaron análisis estadísticos utilizando análisis multivariado de varianza (MANOVA) para probar diferencias significativas entre grupos; análisis de componentes principales (PCA) para reducir la dimensionalidad y visualizar patrones multivariantes; regresión lineal múltiple y modelos lineales generalizados (GLM) para evaluar el impacto de las variables independientes en la biodiversidad y productividad; y cálculo de índices ecológicos como Shannon-Wiener, Simpson, Margalef y Bray-Curtis para evaluar la diversidad y similitud entre las granjas.

Resultados

Individuos, especies y familias utilizadas

La siguiente tabla 1 presenta 10 diferentes individuos con su respectiva especie y familia.

Tabla 1 Especies y familias utilizadas para agroforesteria.

#	Nombre común	Nombre científico	Familia	Especie
1	Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	Meliaceae	odorata
2	Guayacán amarillo	<i>Tabebuia chrysantha</i>	Bignoniaceae	chrysantha
3	Guásimo	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Malvaceae	ulmifolia
4	Porotón	<i>Erythrina poeppigiana</i>	Fabaceae	poeppigiana
5	Guaba	<i>Inga edulis</i>	Fabaceae	edulis
6	Leucaena	<i>Leucaena leucocephala</i>	Fabaceae	leucocephala
7	Higuerón blanco	<i>Ficus insipida</i>	Moraceae	insipida
8	Molle	<i>Schinus molle</i>	Anacardiaceae	molle

9	Arrayán silvestre	/ Mortiño	<i>Miconia spp.</i>	Melastomataceae spp.
10	Guayaba		<i>Psidium guajava</i>	Myrtaceae guajava

Índices Ecológicos

El estudio sobre los índices ecológicos de las 30 parcelas indica que las agroforesterías manejan un promedio de diversidad Shannon-Wiener de 2.50, por otro lado, los manejos convencionales presentan un promedio ligeramente mayor a 2.73 lo que indica que los sistemas convencionales tienen mayor diversidad específica (Grafico 1). Sin embargo, el índice de Simpson, que mide la equitativa distribución en el número de especies, resulta ser más elevado en algunas parcelas agroforestales donde se destacan 0.94 (P5), 0.95 (P8), 0.93 (P9) lo que manifiesta comunidades más equilibradas en estos aspectos (Grafico 2). En lo que respecta al índice de Margalef, ambos tipos de manejo presentan resultados similares, con un promedio general de 2.32–2.35 (Grafico 3). Esto pone de manifiesto que la riqueza de especies no difiere en los sistemas, aunque su composición y distribución son distintas, resaltando el valor ecológico de la agroforestería para la restauración de paisajes degradados (Tabla 2).

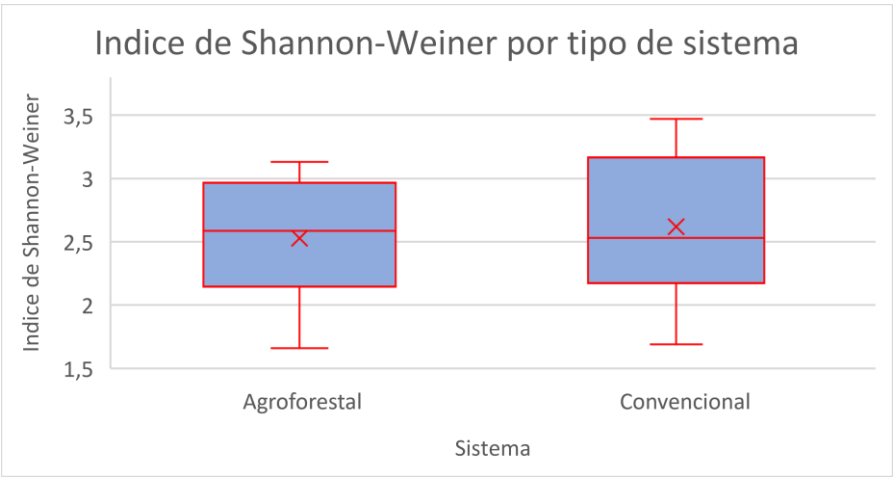


Gráfico 1 Índice de Shannon-Weiner.

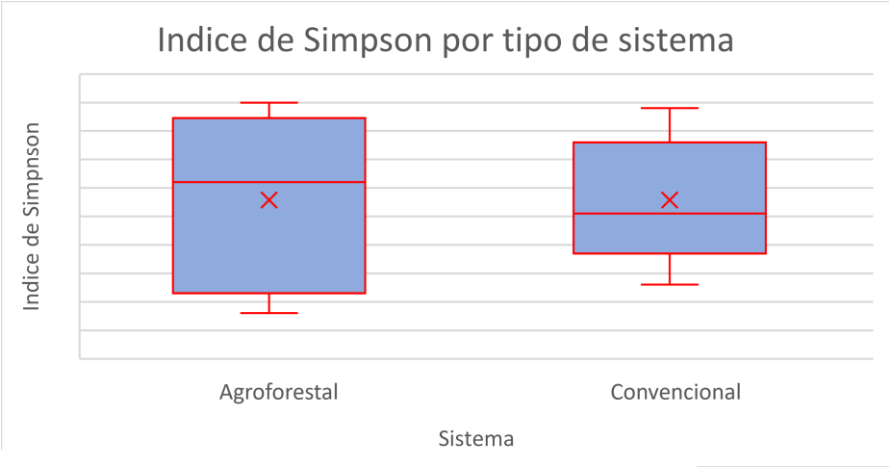


Gráfico 2 Índice de Simpson.

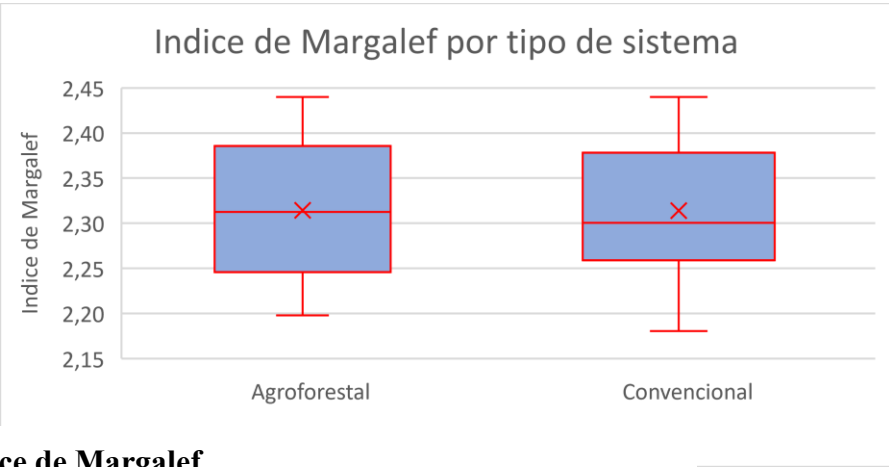


Gráfico 3 Índice de Margalef.

Tabla 2 Índices Ecológicos

ID	Sistema	Índices		
		Shannon-Wiener	Simpson	Margalef
P1	Agroforestal	2,56	0,74	2,32
P2	Convencional	2,4	0,81	2,38
P3	Agroforestal	2,61	0,6	2,30
P4	Agroforestal	2,69	0,58	2,25
P5	Agroforestal	1,66	0,94	2,27
P6	Convencional	2,24	0,73	2,42

P7	Agroforestal	1,98	0,62	2,34
P8	Agroforestal	3,11	0,95	2,41
P9	Agroforestal	2,44	0,93	2,21
P10	Convencional	3,47	0,75	2,31
P11	Agroforestal	2,3	0,9	2,42
P12	Agroforestal	3,13	0,58	2,32
P13	Agroforestal	3,1	0,63	2,20
P14	Agroforestal	1,8	0,82	2,30
P15	Convencional	2,52	0,88	2,44
P16	Agroforestal	2,89	0,89	2,38
P17	Convencional	3,22	0,68	2,35
P18	Convencional	2,15	0,9	2,18
P19	Convencional	1,94	0,88	2,29
P20	Agroforestal	2,92	0,92	2,25
P21	Convencional	3,12	0,85	2,34
P22	Agroforestal	2,2	0,8	2,44
P23	Convencional	1,69	0,76	2,26
P24	Convencional	3,38	0,67	2,29
P25	Convencional	2,3	0,92	2,23
P26	Convencional	2,54	0,94	2,39
P27	Convencional	3,18	0,63	2,28
P28	Convencional	2,85	0,64	2,23
P29	Convencional	2,97	0,72	2,38
P30	Convencional	1,92	0,7	2,27

Análisis MANOVA

El estudio de los estadísticos descriptivos sugiere que los sistemas agroforestales y convencionales tienen aproximadamente el mismo valor en los tres índices de biodiversidad que se evaluaron. En el caso del Shannon-Wiener, su valor fue algo superior en los sistemas convencionales (2.62) que en los agroforestales (2.53) pero esa diferencia, que es muy baja, se halla dentro del rango de dispersión. En relación con el índice de Simpson, ambos sistemas fueron prácticamente idénticos

con un valor de 0.779 que indica que la distribución de especies en ambos casos era equitativa. Del mismo modo, el índice de Margalef tuvo absoluta coincidencia entre los sistemas con un valor de 2.314, lo que hace al índice denotar igualdad en la riqueza específica. Estos resultados apuntan que no se han encontrado diferencias en la diversidad biológica de los sistemas analizados en esta muestra (Tabla 3).

Tabla 3 Estadísticos descriptivos.

Estadísticos descriptivos				
Sistema		Media	Desv. Desviación	N
Índice Shannon	Agroforestal	2,53	0,49	14
	Convencional	2,62	0,56	16
	Total	2,58	0,52	30
Índice Simpson	Agroforestal	0,78	0,15	14
	Convencional	0,78	0,10	16
	Total	0,78	0,12	30
Índice Margalef	Agroforestal	2,31	0,08	14
	Convencional	2,31	0,08	16
	Total	2,31	0,08	30

El análisis multivariante muestra que el efecto del factor "Sistema" (agroforestal vs. convencional) sobre el conjunto de variables dependientes (índices de Shannon-Wiener, Simpson y Margalef) no es estadísticamente significativo, como lo indican todos los estadísticos multivariados: Traza de Pillai = 0.009, Lambda de Wilks = 0.991, F = 0.076, con un valor de significancia (p) = 0.972, muy por encima del umbral convencional de 0.05. Esto implica que, en conjunto, no existen diferencias significativas en la diversidad, equitatividad o riqueza específica entre los sistemas evaluados. En contraste, el efecto de la intersección (constante del modelo) es altamente significativo en todas las pruebas (p < 0.001), como es habitual. En resumen, el MANOVA confirma que el tipo de sistema productivo no influye significativamente en la biodiversidad medida por los tres índices (Tabla 4).

Tabla 4 Prueba multivariante.

Pruebas multivariante ^a

Efecto		Valor	F	gl hipótesis	de gl error	de Sig.
Intersección	Traza de Pillai	0,999	8591,532 ^b	3,000	26,000	0,000
	Lambda de Wilks	0,001	8591,532 ^b	3,000	26,000	0,000
	Traza de Hotelling	991,331	8591,532 ^b	3,000	26,000	0,000
	Raíz mayor de Roy	991,331	8591,532 ^b	3,000	26,000	0,000
	Traza de Pillai	0,009	,076 ^b	3,000	26,000	0,972
	Lambda de Wilks	0,991	,076 ^b	3,000	26,000	0,972
Sistema	Traza de Hotelling	0,009	,076 ^b	3,000	26,000	0,972
	Raíz mayor de Roy	0,009	,076 ^b	3,000	26,000	0,972

a. Diseño: Intersección + Sistema

b. Estadístico exacto

El análisis de los efectos Inter muestras mostró que el factor independiente «Sistema» (agroforestal frente a convencional) no tiene un efecto significativo sobre ninguno de los tres índices de biodiversidad en cuestión. Para Shannon-Wiener hubo $F = 0,217$, $p = 0,645$ y para Simpson y Margalef, los valores de F fueron prácticamente nulos ($F = 0,000$) con niveles de significación de $p = 0,997$ y $p = 0,989$ respectivamente. La expresión de este sistema no aumenta la relevancia estadística ni la identificación. Además, los valores de R^2 son extremadamente bajos (Shannon 0,008; Simpson y Margalef 0,000) e incluso los ajustados son indicios negativos de que el modelo

no mejora la predicción respecto al uso de la media del general. Sin embargo, se observa una fuerte significación en la media global, lo que es de esperar en este tipo de análisis. En definitiva, estos resultados validan que el tipo de sistema productivo no afecta singularmente a los niveles de diversidad, uniformidad o riqueza de especies medidos en esta investigación (Tabla 5).

Tabla 5 Prueba de efectos.

Pruebas de efectos inter-sujetos						
Origen		Tipo III de suma de gl cuadrados		Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	Índice Shannon	,061 ^a	1	0,061	0,217	0,645
	Índice Simpson	2,381E-7 ^b	1	2,381E-07	0,000	0,997
	Índice Margalef	1,107E-6 ^c	1	1,107E-06	0,000	0,989
Intersección	Índice Shannon	197,726	1	197,726	705,544	0,000
	Índice Simpson	18,109	1	18,109	1125,387	0,000
	Índice Margalef	159,957	1	159,957	27337,307	0,000
Sistema	Índice Shannon	0,061	1	0,061	0,217	0,645
	Índice Simpson	2,381E-07	1	2,381E-07	0,000	0,997
	Índice Margalef	1,107E-06	1	1,107E-06	0,000	0,989
Error	Índice Shannon	7,847	28	0,280		

	Índice Simpson	0,451	28	0,016
	Índice Margalef	0,164	28	0,006
	Índice Shannon	206,981	30	
Total	Índice Simpson	18,640	30	
	Índice Margalef	160,833	30	
	Índice Shannon	7,908	29	
Total corregido	Índice Simpson	0,451	29	
	Índice Margalef	0,164	29	

a. R al cuadrado = ,008 (R al cuadrado ajustada = -,028)

b. R al cuadrado = ,000 (R al cuadrado ajustada = -,036)

c. R al cuadrado = ,000 (R al cuadrado ajustada = -,036)

Análisis de componentes principales (PCA)

La matriz de correlaciones evidencia vínculos importantes entre las variables ecológicas, sociales y productivas en sistemas agroforestales. Se nota que existe una fuerte relación positiva entre la agroforestería y la seguridad alimentaria ($r = 0.800$), de igual forma hay una relación moderada con el rendimiento agrícola ($r = 0.588$); esto implica que los sistemas catalogados como sostenibles, tienden a ser productivos y socialmente beneficiosos. La frecuencia de fauna clave mostro correlaciones positivas con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria, la cual representaba la importancia de

la biodiversidad que se puede observar dentro del agroecosistema. Sin embargo, algunos conflictos fueron identificados, como la correlación negativa de conectividad ecológica y el rendimiento agrícola ($r = -0.367$); esto puede implicar un trade-off entre la conservación y producción agrícola

intensiva. Todo esto evidencia que es fundamental incorporar la ecología, lo social y la productividad para realizar una evaluación holística sobre la sostenibilidad agroforestal (Tabla 6).

Matriz de correlaciones							
Correlación		Frecuencia	Conectividad	Seguridad	Índice	Índice	
	Fauna	Fauna	Conectividad	Seguridad	Índice	Índice	
	Clave	Clave	Conectividad	Seguridad	Índice	Índice	
	Clave	Clave	Conectividad	Seguridad	Índice	Índice	
	Clave	Clave	Conectividad	Seguridad	Índice	Índice	
	Clave	Clave	Conectividad	Seguridad	Índice	Índice	
	Clave	Clave	Conectividad	Seguridad	Índice	Índice	
	Clave	Clave	Conectividad	Seguridad	Índice	Índice	
Índice							
Sostenibilidad							
Agroforestal							
Rendimiento kg/ha							
	Frecuencia						
	Fauna	1,000	0,006	0,326	0,285	0,265	0,224
	Clave						
	Conectividad						
	ad	0,006	1,000	0,020	0,463	0,035	-0,367
	Ecológica						
	Seguridad						
	Alimentaria	0,326	0,020	1,000	-0,077	0,800	0,383
	Índice						
	Servicios						
	Ecosistemas	0,285	0,463	-0,077	1,000	-0,157	-0,237
	cos						
	Índice						
	Sostenibilidad						
	dad	0,265	0,035	0,800	-0,157	1,000	0,588
	Agroforestal						
	al						
	Rendimiento						
	kg/ha	0,224	-0,367	0,383	-0,237	0,588	1,000

Tabla 6 Matriz de correlaciones

El resultado de la prueba KMO mostró 0.517, sugiriendo que la cohesión del muestreo es aceptable, aunque restringida, mediante un análisis factorial y que el resultado puede ser optimizado mediante una mejor depuración de variables. En el caso de la prueba de esfericidad de Bartlett, se considera

que hay una correlación significativa al tener el siguiente resultado: Chi-cuadrado = 61.082; gl = 15; nivel de significancia $p < 0.001$. Como resultado, esta comprobación sustenta que es posible usar procedimientos para reducción de dimensiones, tales como el análisis factorial o de componentes principales (Tabla 7).

Tabla 7 Prueba KMO y esfericidad de Bartlett

Prueba de KMO y Bartlett	
Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo	
Aprox.	
Prueba de Chi-esfericidad de Bartlett	61,082
gl	15
Sig.	0,000

El análisis de componentes principales reveló que los dos primeros componentes juntos explicaban aproximadamente el 67,30% de la varianza total, de los cuales el primero es el más representativo con un 40,21% y el segundo con un 27,09%. Después de la rotación Varimax, el control de la varianza factorial, la distribución de la varianza fue similar (39,05% y 28,25%, respectivamente) con menos o igual que facilita la interpretación factorial. El hecho de que el tercer componente tenga un valor propio inferior a 1 no justifica su mantenimiento, lo que apoya un modelo de dos factores como solución óptima para captar la esencia de las interrelaciones de las variables (Tabla 8).

Tabla 8 Varianza total explicada

Varianza total explicada									
Componen te	Autovalores iniciales			Sumas de cargas al cuadrado de la extracción			Sumas de cargas al cuadrado de la rotación		
	%	de	%	%	de	%	%	de	%
	Tota l	varianz a	acumula do	Tota l	varianz a	acumula do	Tota l	varianz a	acumula do
1	2,41 3	40,210	40,210	2,41 3	40,210	40,210	2,34 3	39,047	39,047
2	1,62 5	27,087	67,297	1,62 5	27,087	67,297	1,69 5	28,250	67,297
3	0,92 5	15,422	82,720						
4	0,52 8	8,799	91,519						
5	0,37 3	6,225	97,743						
6	0,13 5	2,257	100,000						

Método de extracción: análisis de componentes principales.

Como se observa en el gráfico de sedimentación, existe una fuerte caída en los autovalores a partir del componente 1 al 2, dejando paso a una pendiente más gradual a partir del componente 3, lo que sugiere que existe un punto de quiebre bastante definido después del segundo componente. En función de Kaiser (eigenvalues > 1), capta el valor del codo también se retiene la varianza residual para los componentes restantes, en este caso los dos primeros componentes, ya que son los que más varianza explican y los demás solo aportan información muy limitada. Esto resalta que un modelo factorial de dos dimensiones resulta el más apropiado para concentrar la información de la estructura de los datos, y, por tanto, su validez (Grafico 4).

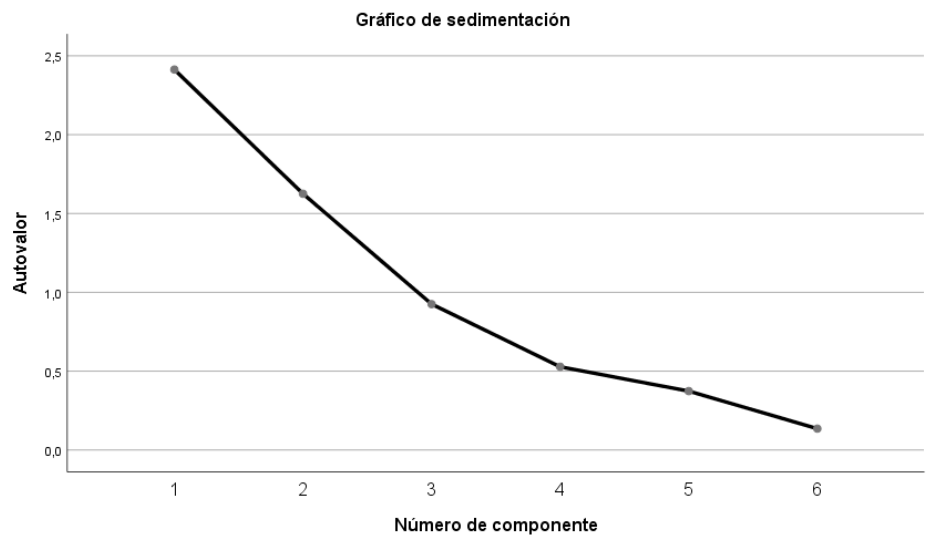


Gráfico 4 Grafico de sedimentación

La matriz de componentes rotados sugiere una clara estructura factorial de dos dimensiones: el primer componente contiene las variables relacionadas al desempeño socio-productivo de la sostenibilidad agroforestal (0.908), la seguridad alimentaria (0.870) y el rendimiento agrícola (0.672), mientras que el segundo componente agrupa las variables ecológicas como los servicios ecosistémicos (0.846) y la conectividad ecológica (0.798). La frecuencia de fauna clave se ubica en el medio, lo que puede interpretarse como una relación entre la biodiversidad que se puede observar y la funcionalidad del sistema. Esta estructura sugiere que la sostenibilidad agroforestal puede ser abordada desde dos ejes interdependientes: uno de carácter social/productivo y el otro ecológico/ambiental (Tabla 9).

Tabla 9 Matriz de componentes rotados

Matriz de componente rotado ^a			
		Componente	
		1	2
Frecuencia	Fauna	0,557	0,353
Clave			
Conectividad		-0,019	0,798
Ecologica			
Seguridad		0,870	0,010
Alimentaria			

Indice	Servicios		
Ecosistemas		-0,022	0,846
Indice			
Sostenibilidad		0,908	-0,098
Agroforestal			
Rendimiento kg/ha		0,672	-0,457

Método de extracción: análisis de componentes principales.

Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser.

a. La rotación ha convergido en 3 iteraciones.

El diagrama de atributos rotados proporciona información clara sobre la división en dos grandes órdenes: el Componente 1 asociado a lo socio-productivo, agrupa con altos valores el rendimiento agropecuario, la sostenibilidad agroforestal y la seguridad alimentaria que se localizan en el cuadrante derecho con altas cargas; mientras que el Componente 2 de índole ecológica se localizan en el cuadrante superior izquierdo y agrupan el índice de servicios ecosistémicos y la conectividad ecológica. La frecuencia de fauna clave se muestra como un intermedio, de ubicación próxima al eje medio y por lo tanto sugiere que interfiere en la mayor parte de las dos dimensiones, que permite resolver que la distribución es válida. Esta disposición confirma que hay dos enfoques que los datos pretendían ajustarse: el primero está ligado al rendimiento social y económico, y el segundo a la dimensión ecológica del sistema agroforestal.

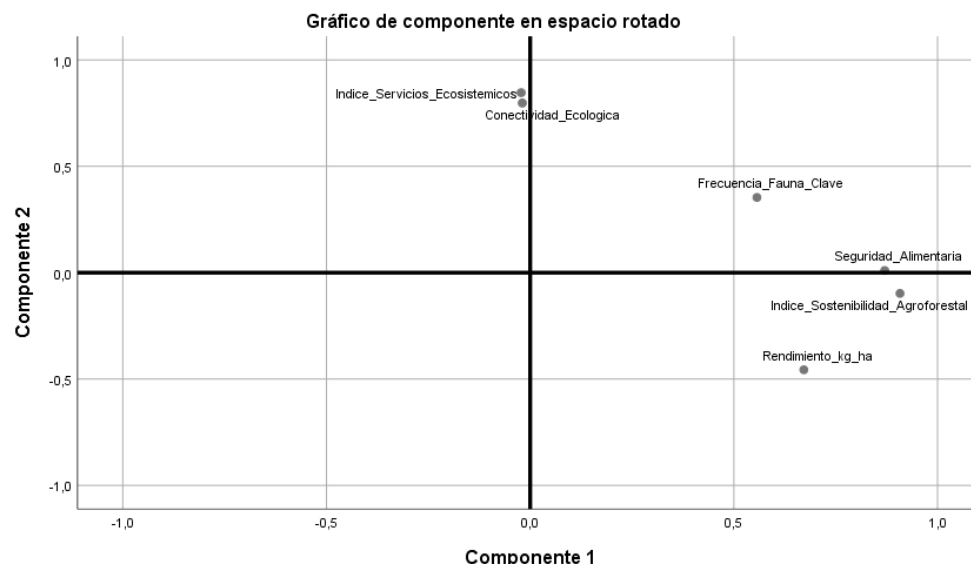


Gráfico 5 Componentes en espacio rotado

Regresión múltiple

El modelo de regresión lineal múltiple produjo un excelente resultado para el ajuste global del Índice de Diversidad de Shannon. El modelo tuvo un R^2 (coeficiente de determinación) igual a 0.855, lo que indica que el 85.5% de la varianza de la variable dependiente, en este caso el índice de diversidad de Shannon, podría ser explicada por el conjunto de variables independientes dentro del modelo. Además, el R^2 ajustado, 0.800, apoya la hipótesis de que el modelo propuesto es capaz de explicar el fenómeno después de ajustar por el número de predictores utilizados. Adicionalmente, el error estándar de estimación obtenido, 0.234, respalda la precisión del modelo para predecir valores.

El ANOVA corroboró la relevancia general del modelo con un $F = 15.487$ y una significación $p < 0.001$, indicando que el modelo es globalmente predictivo y lo realiza de modo significativamente superior a un modelo carente de predictores. Esta evidencia estadística justifica la aplicación de regresión múltiple con la intención de estudiar la conducta del índice de diversidad en relación con variables ecológicas, sociales y productivas (Tabla 10).

Tabla 10 Análisis ANOVA

ANOVA ^a					
Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	6,762	8	0,845	15,49	,000 ^b
1 Residuo	1,146	21	0,055		
Total	7,908	29			

Dentro de las ocho variables incluidas, solo dos resultaron ser predictores significativos del índice de Shannon. El índice de servicios ecosistémicos fue el predictor más relevante del modelo con un coeficiente estandarizado de $\beta = 1.006$ ($p < 0.001$), lo que implica que niveles percibidos más altos de servicios ecosistémicos están fuertemente asociados con una mayor diversidad ecológica. Además, la conectividad ecológica mostró un efecto negativo significativo ($\beta = -0.296$, $p = 0.014$), sugiriendo que, en este caso, mayores niveles de conectividad del paisaje pueden estar asociados con una menor diversidad local, posiblemente debido a la dominancia de unas pocas especies o la falta de heterogeneidad estructural.

En cuanto a las otras variables, no se observaron efectos con un valor p menor a 0.30 (riqueza de especies, rendimiento agrícola, densidad de árboles, distancia al centro del pueblo, sostenibilidad agroforestal, percepción del cambio climático...), lo que significa que esas variables no contribuyen de forma independiente al modelo bajo las condiciones elegidas. Además, los valores de VIF (todos < 2.2) sugieren que no hay colinealidad problemática entre predictores, reforzando la precisión de los coeficientes estimados (Tabla 11).

Tabla 11 Coeficientes de regresión

Coeficientes ^a									
Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	95,0% intervalo de confianza	Estadísticas de	Estadísticas de	
	B	Desv. Error	Beta			para B	de	colinealidad	colinealidad
1 (Constante)	-0,485	0,487		-1	0,33	-1,498	0,528		

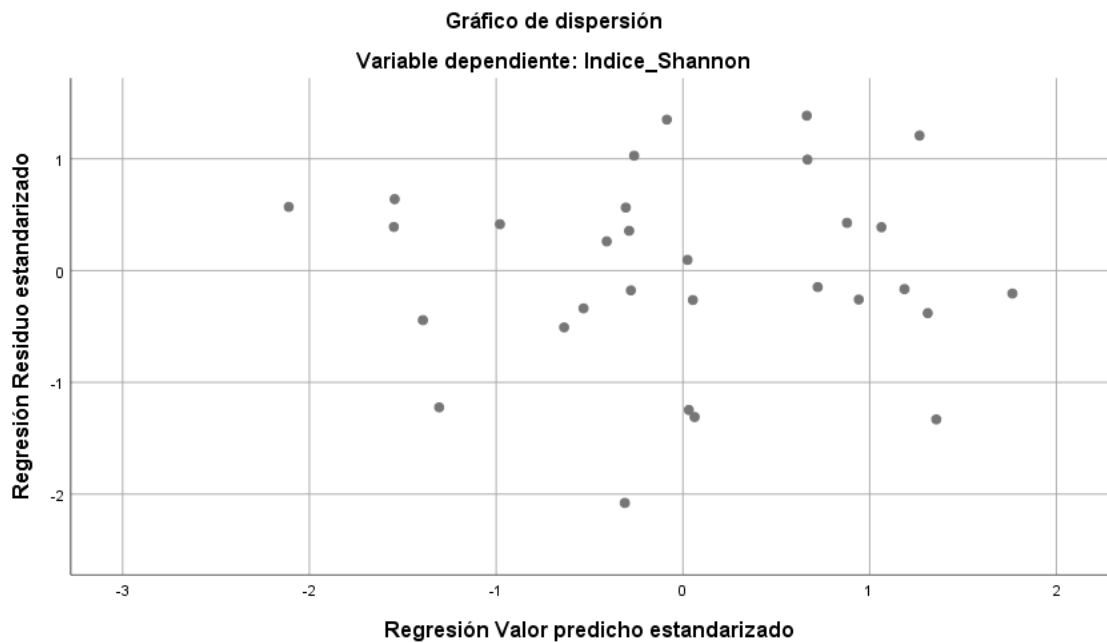
Riqueza Especies	-0,002	0,01	-0,016	-0,17	0,87	-0,022	0,019	0,735	1,36
Rendimiento kg/ha	-7,32E-05	0	-0,07	-0,56	0,58	0	0	0,453	2,208
Densidad Arborea arboles/ha	0	0,001	0,06	0,682	0,5	-0,001	0,002	0,898	1,114
Conectividad Ecológica	-0,548	0,205	-0,296	-2,67	0,01	-0,974	-0,121	0,563	1,777
Distancia Centro Poblado/km	0	0,003	-0,006	-0,07	0,94	-0,007	0,007	0,856	1,168
Índice Servicios Ecosistémicos	3,219	0,315	1,006	10,22	0	2,564	3,874	0,712	1,405
Índice Sostenibilidad Agroforestal	0,253	0,45	0,066	0,563	0,58	-0,683	1,189	0,495	2,019
Percepción Cambio Climático	-0,036	0,034	-0,102	-1,06	0,3	-0,105	0,034	0,738	1,355

El diagrama de dispersión de los residuos estandarizados versus los valores predichos reveló una distribución aleatoria sin patrones sistemáticos y, por lo tanto, se cumplió la suposición de homocasticidad en el modelo. Además, no se observaron valores atípicos extremos y no hubo indicios de no linealidad, lo que implica que los residuos están distribuidos normalmente y el modelo describe adecuadamente la relación lineal entre las variables independientes y el Índice de Shannon (Tabla 12).

Tabla 12 Estadísticas de residuos

Estadísticas de residuos ^a					
	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación	N
Valor pronosticado	1,556773186	3,4278264	2,576	0,48286591	30
Residuo	-0,48562694	0,32383421	0	0,19879767	30
Desv. Valor pronosticado	-2,111	1,764	0	1	30
Desv. Residuo	-2,079	1,386	0	0,851	30

Gráfico 6 Grafico de residuos



Modelo Lineal Generalizado

El análisis multivariado reveló que, entre todas las variables evaluadas, únicamente la conectividad ecológica (Wilks' Lambda = 0.408, F = 7.746, p = 0.002) y el índice de servicios ecosistémicos (Wilks' Lambda = 0.091, F = 53.566, p < 0.001) ejercieron un impacto significativo sobre el conjunto de indicadores ecológicos a consideración. Esto implica que estas dos variables en conjunto explicaron una parte importante de la variabilidad en los índices de biodiversidad. Los

demás predictores, tales como: riqueza de especies, cobertura de sotobosque, especies endémicas, densidad arbórea, y espaciales como la proximidad a fuentes hídricas y distancia a poblados, así como el sistema de manejo (agroforestal vs. convencional) no mostraron efectos multivariados significativos ($p > 0.05$). Estos resultados sugieren que la estructura y funcionalidad ecológica del paisaje en sistemas evaluados, más que las características locales o taxonómicas, explican la biodiversidad (Tabla 13).

Tabla 13 Análisis multivariante Wilk's

Efecto	Wilks' Lambda	F	gl	Sig.
Conectividad ecológica	0,408	7,746	3	0,002
Índice de servicios ecosistémicos	0,091	53,566	3	0

Al considerar el análisis univariado, notamos que el índice de servicios ecosistémicos fue el mejor predictor del índice de Shannon, teniendo un efecto muy significativo ($F = 88.606$; $p < 0.001$), ya que percepción de mayor provisión de servicios ecosistémicos está asociada con mayor diversidad ecológica. Conectividad ecológica también tuvo un efecto relevante sobre Shannon ($F = 6.858$; $p = 0.017$), lo que apoya la hipótesis que paisajes mejor conectados promueven la equitatividad y riqueza de especies. En su contraparte, la distancia a fuentes hídricas tuvo un efecto relevante solamente sobre el índice de Margalef ($F = 5.321$; $p = 0.033$), lo que sugiere que ecosistemas localizados más próximos a agua presentan menores proporciones de riqueza a especies. Estas relaciones evidencian cómo diferentes componentes del paisaje y su funcionalidad impactan, de formas diversas, cada métrica ecológica (Tabla 14).

Tabla 14 Efecto univariado Inter sujetos

Variable independiente	Índice afectado	F	Sig.
Conectividad ecológica	Shannon	6,858	0,017
Proximidad a fuente hídrica	Margalef	5,321	0,033
Índice de servicios ecosistémicos	Shannon	88,606	0

El resumen del modelo reveló que el índice de Shannon fue el componente que mejor se explicó por la relación de los indicadores predictores, teniendo un R^2 ajustado = 0.769. Esto indica que, en torno al 77% de la variabilidad en ese índice se explicaría por las variables consideradas en el modelo. En cambio, los modelos para los índices Simpson (R^2 ajustado = -0.042) y Margalef (R^2 ajustado = 0.080) mostraron bajo poder de explicación, lo que sugiere que estos índices podrían estar impactados por otras variables no incluidas o que son más variables de lo que se pensaba. En conjunto, a partir de los resultados, se puede concluir que el índice de Shannon es el indicador ecológico más útil y sensible del conjunto de datos seleccionado (Tabla 15).

Tabla 15 Resumen modelo R^2 por índice

Índice	R^2	R^2 ajustado
Shannon	0,857	0,769
Simpson	0,353	-0,042
Margalef	0,429	0,08

Discusión

Los hallazgos de este estudio muestran que, aunque la agroforestería no presentó diferencias estadísticamente significativas en los índices ecológicos en comparación con los sistemas convencionales, sí exhibe estructuras más equilibradas en la distribución de especies, apoyando a Kurnianto et al. (2025), quienes afirman que incorporar árboles en paisajes agrícolas puede mitigar la pérdida de biodiversidad, pero sus impactos están altamente contextualizados a los entornos ecológicos y sociales. En particular, este estudio observó que la equidad (índice de Simpson) y la resiliencia socio-productiva también se ven favorecidas por las prácticas agroforestales que, como informaron Comolli et al (2024), identifican valor ecológico y económico en regiones montañosas boscosas bajo gestión agroforestal.

El índice de servicios ecosistémicos y la conectividad ecológica como predictores del desempeño ecológico resultaron en advertencias en los análisis multivariados, concordando con Quintero et al (2022). En su trabajo, afirmaron que la conectividad del paisaje junto con la percepción de beneficios ecosistémicos son un buen proxy del funcionamiento agroecológico. Así como en Castle et al. (2021) el conflicto desconectado de productividad intensiva en relación con una función ecológica asistida como la conectividad, que en este caso se evidenció a través de disminución del

rendimiento agrícola asociado con la aumentada conectividad ecológica ($r = -0.367$). Gong et al. (2021) han argumentado también a favor de este trade-off donde la conservación y producción colisionan, sugiriendo que debieran existir diseños agroforestales adaptativos que permitan alcanzar equilibrio.

La agroforestería a menudo se asocia con impactos socioecológicos; después de todo, los sistemas agroforestales tienen impactos ecológicos y también beneficios sociales importantes, como se destacó en este estudio ($r = 0.800$) respecto a la conexión entre la sostenibilidad agroecológica de la agroforestería y la seguridad alimentaria. Esto también ha sido documentado en las prácticas agroforestales campesinas en América Latina (Castañeda et al., 2020), donde se ha demostrado que los sistemas diversos benefician directamente a las personas rurales. Todos estos resultados subrayan la necesidad de reconocer la agroforestería como uno de los enfoques potenciales para restaurar paisajes degradados, siempre que sus elementos ecológicos, productivos y sociales estén debidamente equilibrados.

Conclusiones

La agroforestería no ha presentado diferencias relevantes en los índices ecológicos, comparando con sistemas convencionales, pero sí mostró tendencia hacia una estructura más equilibrada en la distribución de especies, particularmente a través de Simpson. Lo cual sugiere que, a pesar que la riqueza específica pudiera ser similar, los agroecosistemas sustentables fomentan comunidades ecológicas más estables, siendo esto importante para la restauración ambiental de paisajes degradados.

Los análisis multivariantes y de componentes principales mostraron que la sostenibilidad agroforestal puede ser explicada por dos dimensiones fundamentales, una ecológica y la otra—socio productivos. Servicios ecosistémicos y conectividad ecológica se agrupan en un eje ambiental, mientras que rendimiento agrícola, seguridad alimentaria y sostenibilidad se sitúan en un eje socio productivo. Esto subraya que la agroforestería integra simultáneamente beneficios ecológicos y humanos.

Aunque el análisis por varianza multivariada no mostró resultados relevantes entre agroforestal y el sistema convencional en la diversidad total, el análisis de correlaciones mostró resultados interesantes: la sostenibilidad agroforestal está muy relacionada a la seguridad alimentaria ($r = 0.800$) y en el rendimiento ($r = 0.588$). En contraste, la conectividad ecológica presentó un conflicto

con la productividad ($r = -0.367$), sugiriendo una posible compensación en torno a conservación y aprovechamiento intensivo de recursos.

Recomendaciones

Incentivar la incorporación de sistemas agroforestales en tierras degradadas con el enfoque en la productividad en relación con la conectividad ecológica y a través de un diseño espacial que preserve corredores biológicos con poco impacto en la productividad agrícola.

Implementar programas de monitoreo integral que evalúen indicadores ecológicos y sociales, así como productivos, para evaluar la sostenibilidad de los sistemas agroforestales de manera holística y adaptada al contexto local.

Avanzar en políticas públicas y ofrecer esquemas de incentivos para agricultores a pequeña escala que adopten prácticas agroforestales diversificadas, prestando especial atención al crecimiento de especies nativas que apoyen la fauna local y faciliten la restauración ecológica, manteniendo la resiliencia socioeconómica.

Referencias

- Barcelona, J. (2021). Notas Sobre El Régimen Jurídico Del Camino De Santiago A Su Paso Por El País Vasco (Actualidad Jurídica De Una Vía Histórica).
- Caicedo. (2020). Agroforestería: Una Alternativa De Agricultura Sostenible En La Amazonía Ecuatoriana. *Revista Científica Ecuatoriana*, 7, 1–4.
- Cañas, A. J., Flores Bazurto, E. E., Vélez González, R. R., & Avilés Camacho, E. J. (2024). Manejo Y Conservación De Suelos En El Ecuador Como Medida De Mitigación Al Cambio Climático. *Recimundo*, 8(2), 422–436. [https://doi.org/10.26820/Recimundo/8.\(2\).Abril.2024.422-436](https://doi.org/10.26820/Recimundo/8.(2).Abril.2024.422-436)
- Castañeda, J., Bilhaut, A. G., Mazé, A., & Fernández-Manjarrés, J. (2020). Unveiling Cacao Agroforestry Sustainability Through The Socio-Ecological Systems Diagnostic Framework: The Case Of Four Amazonian Rural Communities In Ecuador. *Sustainability (Switzerland)*, 12(15). <https://doi.org/10.3390/Su12155934>
- Castle, S. E., Miller, D. C., Ordonez, P. J., Baylis, K., & Hughes, K. (2021). The Impacts Of Agroforestry Interventions On Agricultural Productivity, Ecosystem Services, And Human Well-Being In Low- And Middle-Income Countries: A Systematic Review. In *Campbell Systematic Reviews (Vol. 17, Issue 2)*. John Wiley And Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/Cl2.1167>
- Comolli, L. R., Schegg, E., Infuleski, C., Munareto, N., Fassola, H., Von Wallis, A., Bulfe, N. M., González, P., Barth, S. R., Gauchat, M. E., & Wyss, F. (2024). Implementing A Sustainable Integrated Agroforestry System For The Cultivation Of *Ilex Paraguariensis*. *Frontiers In Forests And Global Change*, 7. <https://doi.org/10.3389/Ffgc.2024.1424174>
- Egarter, L., Marsoner, T., Schirpke, U., Tscholl, S., Candiago, S., & Depellegrin, D. (2021). A Multi-Pressure Analysis Of Ecosystem Services For Conservation Planning In The Alps. *Ecosystem Services*, 47. <https://doi.org/10.1016/J.Ecoser.2020.101230>
- Farinango, D. (2021). Propuesta Para Implementación De Sistemas Agroforestales Como Opción De Restauración De Paisajes En Una Finca Familiar En El Cantón El Chaco, Provincia De Napo.
- Girão, I., Gomes, E., Pereira, P., & Rocha, J. (2023). Trends In High Nature Value Farmland And Ecosystem Services Valuation: A Bibliometric Review. *Land*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/Land12101952>

- Gong, J., Cao, E., Xie, Y., Xu, C., Li, H., & Yan, L. (2021). Integrating Ecosystem Services And Landscape Ecological Risk Into Adaptive Management: Insights From A Western Mountain-Basin Area, China. *Journal Of Environmental Management*, 281. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111817>
- Hilty, J., Worboys, G. L., Keeley, A., Woodley, S., Lausche, B., Locke, H., Carr, M., Pulsford, I., Pittock, J., White, J. W., Theobald, D. M., Levine, J., Reuling, M., Watson, J. E. M., Ament, R., & Tabor, G. M. (2020). Lineamientos Para La Conservación De La Conectividad A Través De Redes Y Corredores Ecológicos Desarrollando Capacidades Para Proteger El Planeta. www.iucn.org/pa_guidelines
- Huerta, M. A. (2021). Geopolítica Y Masonería En El Proyecto De Parques Nacionales De Lázaro Cárdenas. *Revista De Estudios Históricos De La Masonería Latinoamericana Y Caribeña*, 13(2), 35–62. <https://doi.org/10.15517/Rehmlac.V13i2.46755>
- Kurnianto, A. S., Dewi, N., Sulistyowati, H., Siddiq, A. M., Ratnasari, T., Khowatini, H., Yulianto, R., & Firdaus, A. S. (2025). Sustaining Biodiversity And Ecological Roles In A Heritage Landscape: The Role Of Coffee Agroforestry In Kluncing, Indonesia. *Hayati Journal Of Biosciences*, 32(2), 459–471. <https://doi.org/10.4308/Hjb.32.2.459-471>
- Marroquín, O., María Montero-Solís, F., Luis-Santiago, Y., Cruz-Gallegos, E., & Cisneros-Saguilán, P. (2022). 49 Limitantes Y Oportunidades Para Implementar Sistemas Silvopastoriles En La Costa De Oaxaca, México [Limitations And Opportunities To Implement Silvopastoral Systems On The Coast Of Oaxaca, Mexico]. In *Revista Mexicana De Agroecosistemas* (Vol. 9, Issue 1).
- Matevski, D., Sagolla, V., Beule, L., & Schuldt, A. (2024). Temperate Alley-Cropping Agroforestry Improves Pest Control Potential By Promoting Spider Abundance And Functional Diversity. *Journal Of Applied Ecology*. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14797>
- Mena, F., Blancas, J., Moreno-Calles, A. I., Ceccon, E., Martínez-Garza, C., López-Medellín, X., & Tegoma-Coloreano, A. (2023). Characterization And Biocultural Importance Of The Agroforestry Systems Of The Sierra De Huautla Biosphere Reserve, Morelos, Mexico. *Botanical Sciences*, 100. <https://doi.org/10.17129/Botsci.3348>
- Neri, J., Flores, J., Dueñas, L., & Rivera, P. (2023). Objetivos De Desarrollo Sostenible Y Su Estrategia De Implementación: Estudios De Caso En Empresas, Gobierno E Instituciones

- De Educación Superior. In *Objetivos De Desarrollo Sostenible Y Su Estrategia De Implementación: Estudios De Caso En Empresas, Gobierno E Instituciones De Educación Superior*. Ediciones Comunicación Científica. <https://doi.org/10.52501/Cc.107>
- Parrales, J. (2022). Efectos De Los Sistemas Agroforestales Sobre La Fertilidad De Los Suelos Del Sitio Ramo Grande, Parroquia La América, Cantón Jipijapa.
- Quintero, I., Daza-Cruz, Y. X., & León-Sicard, T. (2022). Main Agro-Ecological Structure: An Index For Evaluating Agro-Biodiversity In Agro-Ecosystems. *Sustainability (Switzerland)*, 14(21). <https://doi.org/10.3390/Su142113738>
- Ramos, J. M., Romero-Hernández, E., Sánchez-Morales, P., Jiménez-García, D., & Hipólito-Romero, E. (2023). Dimensiones Bioculturales Y Socioeconómicas De La Sustentabilidad En Sistemas Agroforestales Diversificados Con Cacao Y Vainilla. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 14(3), 401–412. <https://doi.org/10.29312/Remexca.V14i3.3093>
- Rivera, A. (2023). Análisis Del Sistema Socio-Ambiental Del Cultivo De Aguacate En La Meseta Purépecha Como Un Problema Perverso. Universidad Nacional Autónoma De México.
- Rodríguez, J., & Leiton, M. (2021). Loss And Fragmentation Of Native Forest Ecosystems And Its Influence On Habitat Diversity In The Tropical Andes Hotspot. *Revista Mexicana De Biodiversidad*, 92. <https://doi.org/10.22201/Ib.20078706e.2021.92.3449>
- Ruiz, D. M., González Paz, S., Reyes, P. V., De, F., & Melgarejo, B. (2023). Nuevas Oportunidades De Conservación Y Restauración En Un Paisaje Rural-Urbano Degradado De La Región Del Maule (Chile) Mediante Imágenes Sentinel 2.
- Ruiz, P., Monterroso-Rivas, A. I., Valdés-Velarde, E., Escamilla-Prado, E., & Gómez-Díaz, J. D. (2022). Carbon Stocks In Coffee (C. Arabica L.) Agroforestry Systems In The Face Of Climate Change: México Case. *Agronomía Mesoamericana*, 33(3). <https://doi.org/10.15517/Am.V33i3.48671>
- Sáenz, L., Guevara, F., Gonzáles, A., & La O, M. (2023). Agroecosistemas Tradicionales Del Trópico Mexicano: Los “Bajíos” De Chiapas Y Sus Características En El Contexto Actual. *Revista De Ciencias Sociales*, 24, 108–122.
- Santelices, R., Vergara, R., Cabrera-Ariza, A., Espinoza-Meza, S., & Silva-Flores, P. (2020). Intra-Specific Variation In *Nothofagus Glauca*, An Endemic Species Of The Mediterranean Forests Of Chile. *Bosque*, 41(3), 221–231. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002020000300221>

- Sarandón, S. J. (2020). Biodiversidad, Agroecología Y Agricultura Sustentable. <https://www.researchgate.net/publication/345955092>
- Tapia, Y. (2020). Contribución De Sistemas Agroforestales De Café Al Ingreso Y Autoconsumo Familiar De Pequeños Productores En República Dominicana.
- Tipan, C. (2024). Impact Of Climate Change On Forest Ecosystems: An Exploratory Analysis. In Horizon Nexus Journal | (Vol. 02). www.horizonnexusjournal.editorialdoso.com
- Verdezoto, V. H., Valdiviezo Freire, E. W., Durán Mera, C. A., & Illicachi Gusñay, R. C. (2023). Especies Maderables En Sistemas Agroforestales Con Cacao (*Theobroma Cacao*, L.), Cantón Yaguachi, Provincia Del Guayas. *Latam Revista Latinoamericana De Ciencias Sociales Y Humanidades*, 4(2). <https://doi.org/10.56712/Latam.V4i2.670>

© 2025 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).