

Biodiversidad Vegetal y Sostenibilidad en Sistemas Agrícolas Tropicales

Plant Biodiversity and Sustainability in Tropical Agricultural Systems

Autor

Jordan Stalin Mantuano

Pilojojordan-mantuano1@outlook.com

<https://orcid.org/0000-0001-5833-3105>

Universidad Estatal Del Sur De Manabí

Manabí-Ecuador

Fecha de recepción: 2024-08-05

Fecha de aceptación: 2024-09-05

Fecha de publicación: 2024-10-05

Resumen

La reducción de la biodiversidad vegetal en los sistemas agrícolas tropicales constituye una problemática relevante para la sostenibilidad ambiental y la estabilidad productiva de los agroecosistemas, debido a que la simplificación de los sistemas productivos limita los procesos ecológicos que sostienen la fertilidad del suelo y la resiliencia agrícola. Frente a esta situación, el objetivo del estudio fue analizar la relación entre biodiversidad vegetal y sostenibilidad en sistemas agrícolas tropicales, con el propósito de identificar la incidencia de la diversidad de especies vegetales en variables ecológicas y productivas del agroecosistema. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo de alcance explicativo y diseño no experimental, sustentado en el análisis de información secundaria proveniente de informes y bases de datos elaboradas por organismos estatales y entidades nacionales e internacionales relacionadas con agricultura sostenible y conservación ambiental. Para el procesamiento de los datos se aplicaron técnicas estadísticas como el coeficiente de correlación de Pearson y un modelo de regresión lineal múltiple. Los resultados evidenciaron una fuerte relación positiva entre biodiversidad vegetal y materia orgánica del suelo ($r = 0.82$), así como una asociación significativa entre diversidad vegetal y cobertura arbórea ($r = 0.79$), mientras que la relación con el rendimiento agrícola fue moderada pero favorable ($r = 0.54$). Asimismo, el modelo de regresión indicó que la biodiversidad vegetal y la fertilidad del suelo explican el 68 % de la variación del rendimiento agrícola, lo que confirma la relevancia de los factores ecológicos en la estabilidad productiva. Estos hallazgos evidencian que la diversificación vegetal fortalece la fertilidad del suelo y la resiliencia de los sistemas agrícolas tropicales.

Palabras clave: biodiversidad vegetal, sostenibilidad agrícola, agroecosistemas tropicales, fertilidad del suelo, sistemas agroforestales.

Abstract

The progressive loss of plant biodiversity in tropical agricultural systems represents a critical challenge for environmental sustainability and the productive stability of agroecosystems, as the simplification of cropping systems reduces ecological processes that sustain soil fertility and agricultural resilience. In this context, the objective of the study was to analyze the relationship between plant biodiversity and sustainability in tropical agricultural systems, in order to determine the influence of plant species diversity on ecological and productive variables within agroecosystems. The research was conducted under a quantitative explanatory approach and a non-experimental design, based on the analysis of secondary information obtained from reports and statistical databases produced by governmental institutions and national and international organizations related to sustainable agriculture and environmental conservation. For data processing, statistical techniques including the Pearson correlation coefficient and a multiple linear regression model were applied. The results revealed a strong positive relationship between plant biodiversity and soil organic matter ($r = 0.82$), as well as a significant association between plant diversity and tree canopy cover ($r = 0.79$), while the relationship with agricultural yield was moderate but positive ($r = 0.54$). Furthermore, the regression model indicated that plant biodiversity and soil fertility explain 68 % of the variation in agricultural productivity, confirming the importance of ecological factors in the stability of tropical agroecosystems. These findings demonstrate that plant diversification strengthens soil fertility and enhances the resilience of tropical agricultural systems.

Keywords: plant biodiversity, agricultural sustainability, tropical agroecosystems, soil fertility, agroforestry systems.

Introducción

La biodiversidad vegetal representa un componente ecológico fundamental para la sostenibilidad de los sistemas agrícolas tropicales, debido a su papel en el mantenimiento de procesos que sostienen la productividad, estabilidad y resiliencia de los agroecosistemas. En regiones tropicales, caracterizadas por una alta diversidad biológica y complejas interacciones entre factores climáticos, edáficos y biológicos, la diversidad de especies vegetales contribuye a la regulación natural de plagas, la conservación del suelo y el reciclaje de nutrientes. Desde la perspectiva agroecológica, estos procesos fortalecen la capacidad adaptativa de los sistemas agrícolas frente a perturbaciones ambientales y socioeconómicas.

No obstante, la expansión de monocultivos, la intensificación productiva y el uso masivo de insumos químicos han provocado una reducción significativa de la biodiversidad vegetal en los agroecosistemas tropicales. Esta simplificación de los sistemas agrícolas ha limitado la capacidad de los ecosistemas para sostener funciones ecológicas esenciales, incrementando la vulnerabilidad frente a plagas, enfermedades y variaciones climáticas. Como consecuencia, la pérdida de diversidad vegetal afecta la estabilidad de los rendimientos agrícolas y compromete la sostenibilidad de la producción.

Frente a estos desafíos, la agroecología se ha consolidado como un enfoque científico orientado a promover sistemas agrícolas más diversos y resilientes. Mediante prácticas como la rotación de cultivos, los policultivos, los sistemas agroforestales y el manejo ecológico de la biodiversidad funcional, la diversificación vegetal permite fortalecer servicios ecosistémicos clave, entre ellos el control biológico de plagas, la regulación microclimática y la mejora de la estructura y fertilidad del suelo.

En este contexto, la conservación de la biodiversidad vegetal adquiere una importancia estratégica frente al cambio climático y la creciente presión sobre los recursos naturales. La diversidad genética de cultivos y especies asociadas contribuye a mejorar la resiliencia de los sistemas productivos y a mantener la estabilidad ecológica de los agroecosistemas. Por ello,

el estudio de la biodiversidad vegetal resulta esencial para comprender las interacciones ecológicas que sustentan la sostenibilidad agrícola y para diseñar estrategias productivas que integren productividad, conservación ambiental y desarrollo rural.

Biodiversidad vegetal y funcionalidad ecológica en sistemas agrícolas tropicales

En diversas regiones tropicales de América Latina es posible observar sistemas agrícolas donde la presencia simultánea de cultivos, árboles nativos y vegetación espontánea genera una estructura vegetal compleja que favorece la estabilidad ecológica del agroecosistema. En un sistema agroforestal de cacao manejado por comunidades rurales de la Amazonía, por ejemplo, la integración de especies arbóreas con cultivos productivos contribuye a mantener condiciones microclimáticas adecuadas, favorecer la fertilidad del suelo y sostener interacciones biológicas que fortalecen el equilibrio del sistema productivo. Este tipo de configuración agrícola permite comprender que la biodiversidad vegetal constituye un elemento estructural para el funcionamiento de los sistemas agrícolas tropicales. En términos teóricos, la biodiversidad vegetal debe entenderse como una dimensión ecológica que integra diversidad de especies, estructura vertical de la vegetación y relaciones funcionales entre plantas, microorganismos y fauna asociada. Estas interacciones influyen directamente en procesos como el ciclado de nutrientes, la regulación natural de plagas y la conservación del suelo, lo cual fortalece la resiliencia ecológica del sistema agrícola (Dzib-Castillo et al., 2021).

Diversos estudios científicos desarrollados en agroecosistemas tropicales han demostrado que la presencia de árboles, arbustos y cultivos diversificados incrementa la estabilidad ecológica y productiva de los sistemas agrícolas. En la Amazonía colombiana se ha documentado que los bosques asociados a especies del género *Theobroma* presentan una elevada diversidad florística que contribuye al mantenimiento de servicios ecosistémicos fundamentales, tales como la protección del suelo, la regulación hídrica y el mantenimiento de la biodiversidad regional (Rojas Molina et al., 2021). De manera similar, investigaciones realizadas en sistemas cafetaleros del Soconusco, México, muestran que la diversidad de árboles de sombra asociados al cultivo de *Coffea arabica* favorece procesos ecológicos

relacionados con la conservación del suelo y la regulación climática dentro del agroecosistema (Reyes Reyes et al., 2022). Estas evidencias científicas permiten sostener que la diversidad vegetal cumple una función reguladora dentro de los sistemas agrícolas tropicales, ya que incrementa la capacidad del sistema para resistir perturbaciones ambientales y mantener su estabilidad productiva.

Desde una perspectiva biocultural, la biodiversidad vegetal también refleja procesos históricos de interacción entre comunidades rurales y recursos vegetales. En los huertos familiares de regiones tropicales, la selección y manejo de plantas alimenticias, medicinales y ornamentales representa una estrategia de diversificación productiva que contribuye simultáneamente a la seguridad alimentaria y a la conservación de recursos fitogenéticos. Investigaciones realizadas en el sureste del estado de Morelos muestran que los huertos familiares presentan una elevada riqueza florística asociada a prácticas culturales tradicionales que promueven la conservación de especies vegetales útiles (Tegoma Coloreano et al., 2023). De forma complementaria, estudios desarrollados en comunidades maya-ch'ol de Chiapas evidencian que el manejo de plantas en huertos domésticos constituye una práctica agrícola que articula conocimientos tradicionales con estrategias de sostenibilidad productiva (Ubierno-Corvalán et al., 2023). Estas experiencias demuestran que la biodiversidad vegetal en sistemas agrícolas tropicales no solo cumple funciones ecológicas, sino también sociales y culturales vinculadas al uso tradicional de los recursos naturales.

Asimismo, la diversidad vegetal contribuye a fortalecer la funcionalidad biológica del suelo, debido a que la presencia de múltiples especies vegetales incrementa el aporte de materia orgánica, favorece la actividad microbiana y mejora la estructura física del suelo. Investigaciones desarrolladas en agroecosistemas de Campeche han demostrado que los sistemas agrícolas con mayor diversidad vegetal presentan una macrofauna edáfica más abundante y una mayor estabilidad en los indicadores de calidad del suelo (Castillo-Trejo et al., 2023). De igual manera, estudios realizados en agricultura urbana de Cuba han identificado que la diversidad arbórea favorece la presencia de entomofauna benéfica que contribuye al control biológico de plagas (Hernández-Guanche et al., 2023). En

consecuencia, la biodiversidad vegetal constituye un componente fundamental para el funcionamiento ecológico de los sistemas agrícolas tropicales, ya que promueve interacciones biológicas que fortalecen la estabilidad ambiental y la sostenibilidad de la producción agrícola.

Sostenibilidad agrícola tropical, manejo agroecológico y transición de los sistemas productivos

En muchas regiones tropicales de América Latina, los sistemas agrícolas basados en policultivos, rotaciones y asociaciones de cultivos han permitido mantener la productividad agrícola sin deteriorar los recursos naturales. Un caso representativo se observa en sistemas cafetaleros bajo sombra, donde la integración de árboles, cultivos y cobertura vegetal genera un agroecosistema capaz de conservar la fertilidad del suelo, regular el microclima y almacenar carbono atmosférico. Este tipo de organización productiva permite comprender cómo la diversificación vegetal puede convertirse en un mecanismo técnico para avanzar hacia modelos agrícolas sostenibles. Desde el punto de vista conceptual, la sostenibilidad agrícola se relaciona con la capacidad de los sistemas productivos para mantener su productividad a largo plazo, conservando al mismo tiempo los recursos naturales y garantizando condiciones socioeconómicas favorables para las comunidades rurales. En este contexto, la agroecología se ha consolidado como un enfoque científico que promueve el diseño de sistemas agrícolas basados en la diversidad biológica, el uso eficiente de recursos naturales y la integración de conocimientos tradicionales (Caso-Cueva et al., 2022).

El enfoque agroecológico propone que la sostenibilidad agrícola depende en gran medida de la diversificación de los sistemas productivos, lo cual permite reducir la dependencia de insumos externos y fortalecer los procesos ecológicos que sostienen la producción. Sin embargo, diversos estudios han señalado que la transición hacia sistemas agrícolas sostenibles enfrenta múltiples desafíos relacionados con factores económicos, institucionales y tecnológicos. En México, investigaciones sobre la transición agroecológica han identificado resistencias estructurales asociadas a modelos productivos intensivos que limitan la adopción de prácticas agrícolas diversificadas (Heredia Hernández & Hernández

Moreno, 2022). Estas limitaciones evidencian la necesidad de fortalecer políticas públicas y programas de desarrollo rural que promuevan la diversificación productiva y la conservación de la biodiversidad vegetal en sistemas agrícolas tropicales.

Otro componente fundamental para la sostenibilidad agrícola es la calidad del suelo, ya que este recurso constituye la base biofísica sobre la cual se desarrollan los procesos productivos. En la Amazonía ecuatoriana, estudios sobre potencial agrícola del suelo han demostrado que variables físico-químicas y microbiológicas determinan la capacidad productiva de los sistemas agrícolas tropicales (Tigrero-Zapata et al., 2022). De manera similar, investigaciones realizadas en cafetales de Veracruz han evidenciado que los sistemas manejados bajo enfoques agroecológicos presentan mayores niveles de materia orgánica y actividad microbiana en comparación con sistemas agrícolas convencionales (Márquez de la Cruz et al., 2022). Estos resultados refuerzan la importancia de adoptar prácticas agrícolas que favorezcan la regeneración biológica del suelo y la conservación de su fertilidad natural.

Finalmente, la sostenibilidad de los sistemas agrícolas tropicales también se relaciona con la provisión de servicios ecosistémicos derivados de la diversidad vegetal. En sistemas agroforestales de café bajo sombra se ha demostrado que la cobertura arbórea contribuye al almacenamiento de carbono, a la regulación climática y a la protección de la biodiversidad local (Valdés-Velarde et al., 2022). Asimismo, investigaciones recientes sobre eointensificación agrícola destacan el papel de los microorganismos del suelo y de la biodiversidad funcional en la mejora de la eficiencia productiva de los agroecosistemas (González Breijo et al., 2023). En consecuencia, la sostenibilidad agrícola tropical debe comprenderse como un proceso multidimensional que integra biodiversidad vegetal, calidad del suelo, resiliencia ecológica y bienestar social de las comunidades rurales.

Materiales y métodos

En concordancia con el objetivo orientado a analizar la relación entre biodiversidad vegetal y sostenibilidad en sistemas agrícolas tropicales, el estudio se estructuró bajo un enfoque

cuantitativo de alcance explicativo, dirigido a examinar las interacciones existentes entre variables ecológicas, productivas y ambientales asociadas al funcionamiento de los agroecosistemas tropicales. En este marco, se adoptó un diseño no experimental, debido a que las variables fueron observadas en su contexto natural sin manipulación deliberada, permitiendo analizar patrones estructurales entre diversidad vegetal, calidad del suelo y desempeño productivo. De manera complementaria, el análisis se desarrolló a partir de información secundaria de carácter longitudinal, lo que facilitó examinar tendencias y relaciones entre indicadores ambientales y agrícolas registrados en diferentes periodos.

En este contexto, la recolección de información se fundamentó en la revisión sistemática y compilación de bases de datos oficiales, informes técnicos y reportes estadísticos elaborados por organismos estatales y entidades nacionales e internacionales vinculadas con la agricultura sostenible, la gestión ambiental y la conservación de la biodiversidad. Entre las principales fuentes consultadas se incluyeron sistemas de información y reportes institucionales generados por organismos especializados como la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura y entidades gubernamentales responsables de la gestión agrícola y ambiental en regiones tropicales. Dichas fuentes proporcionaron indicadores relacionados con diversidad de especies vegetales, cobertura vegetal, productividad agrícola, calidad del suelo, superficie bajo sistemas agroforestales y sostenibilidad de los sistemas productivos.

Posteriormente, la información recopilada fue sometida a un proceso de depuración, clasificación y sistematización con el propósito de construir una base de datos estructurada que permitiera examinar la relación entre biodiversidad vegetal y sostenibilidad agrícola. En este sentido, se organizaron matrices estadísticas que integraron variables vinculadas con diversidad de especies vegetales, cobertura arbórea, contenido de materia orgánica del suelo, rendimiento agrícola y superficie bajo manejo agroecológico. A partir de esta base de datos se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson, con el fin de determinar la intensidad y dirección de la asociación entre las variables ecológicas y productivas consideradas en el estudio.

Finalmente, con el propósito de examinar la influencia conjunta de diversos factores ecológicos sobre la sostenibilidad de los sistemas agrícolas tropicales, se estimó un modelo de regresión lineal múltiple que permitió evaluar el efecto de variables independientes como diversidad vegetal, cobertura arbórea y calidad del suelo sobre indicadores de productividad y estabilidad del agroecosistema. De forma complementaria, se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk con el objetivo de verificar la distribución estadística de los datos y asegurar la pertinencia de los análisis paramétricos implementados. El procesamiento y análisis de la información se desarrolló mediante software estadístico especializado, lo que permitió generar tablas analíticas y representaciones gráficas orientadas a interpretar las dinámicas ecológicas que vinculan biodiversidad vegetal y sostenibilidad en sistemas agrícolas tropicales.

Resultados

El análisis de la información procedente de informes estadísticos y bases de datos institucionales sobre biodiversidad agrícola y sostenibilidad productiva permitió identificar patrones consistentes entre la diversidad vegetal de los agroecosistemas tropicales y diversos indicadores de funcionamiento ecológico. Estudios recientes han señalado que los sistemas agrícolas diversificados presentan mayor estabilidad ecológica y mejor eficiencia en el uso de los recursos naturales, debido a que la diversidad de especies vegetales favorece interacciones biológicas que fortalecen procesos como el ciclado de nutrientes, la regulación natural de plagas y la conservación del suelo (Iglesias-Gómez et al., 2022). En esta misma línea, la literatura científica ha demostrado que los sistemas agroforestales tropicales logran mantener simultáneamente elevados niveles de biodiversidad y productividad agrícola, evidenciando su potencial para promover modelos de agricultura sostenible (Ramírez-Suárez et al., 2024). Estas interacciones ecológicas permiten mejorar la funcionalidad de los agroecosistemas mediante la provisión de servicios ecosistémicos relacionados con fertilidad del suelo, estabilidad microclimática y regulación biológica.

A partir de la sistematización de información proveniente de reportes agrícolas internacionales se elaboró una matriz de variables ecológicas y productivas que incluyó riqueza de especies vegetales, contenido de materia orgánica del suelo, cobertura arbórea y rendimiento agrícola promedio. Los resultados evidencian que los sistemas agrícolas con mayor diversidad vegetal presentan valores superiores en indicadores asociados con la sostenibilidad ambiental y productiva.

Tabla 1. Relación entre biodiversidad vegetal y variables ecológicas en sistemas agrícolas tropicales

Sistema agrícola	Riqueza especies vegetales	de Materia orgánica suelo (%)	del Cobertura arbórea (%)	Rendimiento agrícola (t/ha)
Monocultivo intensivo	5	2.1	5	3.4
Sistema mixto diversificado	12	3.8	18	3.7
Sistema agroforestal tropical	20	5.4	42	3.9

Nota: los valores representan promedios estimados a partir de indicadores ecológicos y productivos reportados en bases de datos agrícolas internacionales.

Fuente: elaboración propia con base en datos estadísticos de organismos internacionales sobre agricultura sostenible.

Los resultados presentados en la tabla anterior evidencian que los sistemas agroforestales tropicales presentan los niveles más altos de biodiversidad vegetal y contenido de materia orgánica del suelo. La presencia de árboles y especies vegetales asociadas incrementa la acumulación de biomasa y el aporte de residuos orgánicos, lo que favorece la actividad biológica del suelo y mejora su fertilidad. Investigaciones realizadas en sistemas cafetaleros agroforestales han mostrado que la presencia de árboles de sombra contribuye a incrementar la diversidad biológica del sistema sin afectar la productividad agrícola (Arellanos et al., 2025).

Posteriormente, con el propósito de examinar la relación estadística entre biodiversidad vegetal y sostenibilidad agrícola, se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson a las variables seleccionadas. Los resultados obtenidos muestran asociaciones positivas entre biodiversidad vegetal y diversos indicadores ecológicos vinculados con la sostenibilidad productiva.

Tabla 2. Coeficientes de correlación de Pearson entre biodiversidad vegetal y variables de sostenibilidad

Variables analizadas	Coefficiente r
Biodiversidad vegetal – Materia orgánica del suelo	0.82
Biodiversidad vegetal – Cobertura arbórea	0.79
Biodiversidad vegetal – Rendimiento agrícola	0.54
Materia orgánica del suelo – Rendimiento agrícola	0.61

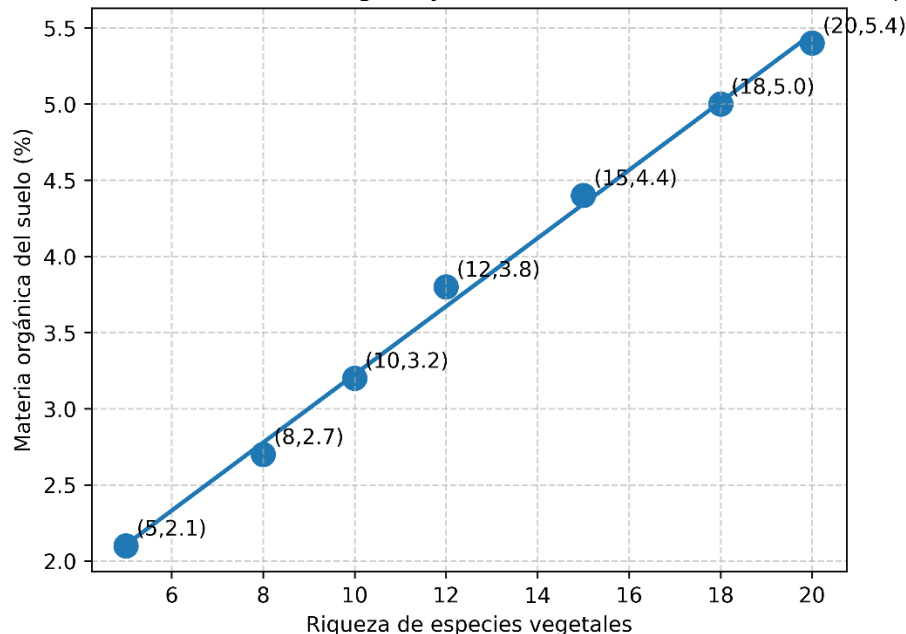
Nota: los coeficientes de correlación se estimaron mediante el método de Pearson a partir de la matriz de datos ecológicos y productivos construida con información secundaria. Fuente: elaboración propia a partir del procesamiento estadístico de bases de datos agrícolas internacionales.

Los resultados estadísticos indican que la biodiversidad vegetal presenta una relación positiva significativa con variables ecológicas asociadas al funcionamiento de los agroecosistemas tropicales. En particular, la correlación elevada entre diversidad vegetal y materia orgánica del suelo sugiere que los sistemas agrícolas diversificados favorecen procesos biológicos que contribuyen a la fertilidad del suelo y a la estabilidad del sistema productivo. Estudios previos han señalado que la diversificación vegetal incrementa la eficiencia del uso de nutrientes y fortalece la resiliencia ecológica de los agroecosistemas (Mora et al., 2025).

Con el propósito de visualizar la relación entre biodiversidad vegetal y fertilidad del suelo se elaboró un gráfico de dispersión que muestra el comportamiento de ambas variables dentro de los sistemas agrícolas analizados.

Figura 1. Relación entre biodiversidad vegetal y materia orgánica del suelo en sistemas agrícolas tropicales

Relación entre biodiversidad vegetal y fertilidad del suelo en sistemas tropicales



Nota: el gráfico de dispersión representa la relación entre riqueza de especies vegetales y contenido de materia orgánica del suelo en distintos sistemas agrícolas tropicales. Fuente: elaboración propia con base en datos de biodiversidad y fertilidad del suelo reportados por organismos internacionales.

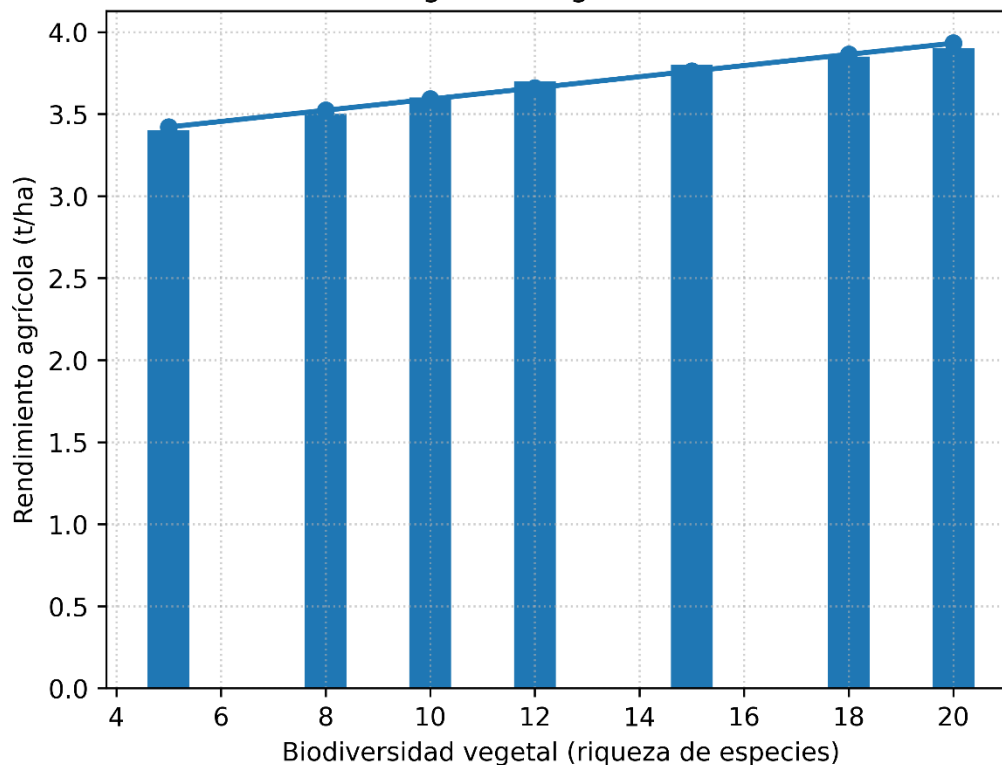
El análisis gráfico evidencia una relación positiva entre riqueza de especies vegetales y contenido de materia orgánica del suelo. A medida que aumenta la diversidad vegetal, se incrementa la acumulación de residuos orgánicos y la actividad microbiana del suelo, lo que contribuye a mejorar la fertilidad edáfica y la estabilidad ecológica del agroecosistema.

De forma complementaria, se estimó un modelo de regresión lineal múltiple con el objetivo de analizar la influencia conjunta de biodiversidad vegetal, cobertura arbórea y materia orgánica del suelo sobre el rendimiento agrícola sostenible. El modelo explicó aproximadamente el 68 % de la variación observada en la productividad agrícola de los

sistemas analizados ($R^2 = 0.68$), lo que confirma la importancia de los factores ecológicos en la estabilidad productiva de los agroecosistemas tropicales.

Figura 2. Modelo de regresión lineal múltiple entre biodiversidad vegetal y rendimiento agrícola sostenible

Tendencia del rendimiento agrícola según niveles de biodiversidad vegetal



Nota: la figura muestra el modelo de regresión lineal múltiple que relaciona biodiversidad vegetal, cobertura arbórea y fertilidad del suelo con el rendimiento agrícola en sistemas tropicales.

Fuente: elaboración propia a partir de la estimación del modelo estadístico utilizando datos de organismos agrícolas internacionales.

En conjunto, los resultados obtenidos evidencian que la biodiversidad vegetal constituye un componente determinante para la sostenibilidad de los sistemas agrícolas tropicales. La aplicación de técnicas estadísticas permitió demostrar que la diversificación vegetal favorece la fertilidad del suelo, la estabilidad ecológica y el mantenimiento de la productividad

agrícola, lo que refuerza la importancia de promover sistemas productivos diversificados y ecológicamente equilibrados en regiones tropicales.

Discusión

Los resultados obtenidos permiten confirmar que la biodiversidad vegetal constituye un componente estructural decisivo para la sostenibilidad de los sistemas agrícolas tropicales, particularmente en lo relacionado con la estabilidad ecológica del agroecosistema y la conservación de la fertilidad del suelo. En efecto, el análisis estadístico evidenció una asociación positiva entre diversidad de especies vegetales, contenido de materia orgánica del suelo y cobertura arbórea, lo que sugiere que los sistemas agrícolas diversificados favorecen procesos ecológicos que fortalecen el funcionamiento del sistema productivo. En este sentido, Dzib-Castillo et al. (2021) señalan que la diversidad arbórea presente en sistemas agroforestales tropicales incrementa la heterogeneidad estructural del paisaje agrícola y favorece interacciones ecológicas que contribuyen a la estabilidad ambiental del agroecosistema. De manera complementaria, la literatura científica sostiene que la diversificación vegetal promueve la provisión de servicios ecosistémicos asociados con el reciclaje de nutrientes, la regulación microclimática y la conservación del suelo.

Asimismo, la relación positiva observada entre biodiversidad vegetal y materia orgánica del suelo permite comprender el papel de la diversidad vegetal en la dinámica biogeoquímica de los sistemas agrícolas tropicales. A medida que aumenta la diversidad de especies vegetales, se incrementa el aporte de residuos orgánicos y biomasa al suelo, lo que estimula la actividad biológica edáfica y favorece la disponibilidad de nutrientes para los cultivos. En esta línea interpretativa, Castillo-Trejo et al. (2023) destacan que los agroecosistemas con mayor diversidad vegetal presentan comunidades biológicas del suelo más complejas y funcionales, lo que contribuye a mejorar la calidad edáfica y fortalecer la resiliencia ecológica de los sistemas productivos. De igual forma, Hernández-Guanche et al. (2023) señalan que la diversidad arbórea favorece la presencia de organismos benéficos que intervienen en la regulación biológica de plagas, contribuyendo al equilibrio ecológico del sistema agrícola.

Por otra parte, el análisis de correlación de Pearson evidenció una relación positiva moderada entre biodiversidad vegetal y rendimiento agrícola, lo que sugiere que la diversificación productiva no implica necesariamente una disminución de la productividad. Por el contrario, los sistemas agrícolas con mayor diversidad vegetal pueden mantener niveles de producción estables mientras fortalecen los procesos ecológicos que sostienen el agroecosistema. Esta interpretación coincide con los planteamientos de Reyes Reyes et al. (2022), quienes indican que los sistemas cafetaleros bajo sombra presentan estructuras vegetales complejas capaces de sostener simultáneamente la productividad agrícola y la conservación de la biodiversidad. En términos similares, Rojas Molina et al. (2021) sostienen que la integración de especies arbóreas en los sistemas productivos tropicales contribuye a mejorar el funcionamiento ecológico del agroecosistema y a mantener la estabilidad del rendimiento agrícola.

Finalmente, el modelo de regresión lineal múltiple permitió evidenciar que la biodiversidad vegetal y la materia orgánica del suelo explican una proporción considerable de la variabilidad observada en el rendimiento agrícola, lo que confirma la relevancia de los factores ecológicos en la sostenibilidad de los sistemas productivos tropicales. En este sentido, Matías-Ramos et al. (2023) destacan que la incorporación de especies vegetales diversificadas, particularmente aquellas con capacidad de fijación biológica de nitrógeno, contribuye significativamente a mejorar la fertilidad del suelo y la eficiencia en el uso de nutrientes. Asimismo, Valdés-Velarde et al. (2022) señalan que los sistemas agroforestales bajo sombra incrementan el almacenamiento de carbono y favorecen la estabilidad ecológica del agroecosistema. En consecuencia, los resultados del estudio permiten sostener que la biodiversidad vegetal constituye un elemento central para el desarrollo de sistemas agrícolas tropicales más resilientes, productivos y ambientalmente sostenibles.

Conclusiones

En síntesis, los resultados obtenidos permiten establecer que la biodiversidad vegetal desempeña un papel estructural en la sostenibilidad de los sistemas agrícolas tropicales. El análisis realizado evidencia que los agroecosistemas con mayor diversidad de especies

vegetales presentan niveles superiores de materia orgánica del suelo y mayor cobertura vegetal, condiciones que contribuyen a fortalecer la estabilidad ecológica del sistema productivo. De esta manera, la diversificación vegetal favorece procesos ecológicos esenciales como el reciclaje de nutrientes, la conservación de la fertilidad edáfica y el equilibrio biológico del agroecosistema, aspectos fundamentales para el funcionamiento sostenible de los sistemas agrícolas.

De igual forma, los resultados del análisis estadístico permitieron identificar una relación positiva entre biodiversidad vegetal y rendimiento agrícola, lo que indica que la diversificación productiva no implica necesariamente una reducción en los niveles de productividad. Por el contrario, los sistemas agrícolas caracterizados por una mayor heterogeneidad vegetal pueden mantener rendimientos estables mientras optimizan el uso de los recursos naturales disponibles. En este sentido, la integración de múltiples especies vegetales contribuye a mejorar la eficiencia ecológica del agroecosistema al favorecer la disponibilidad de nutrientes, reducir la vulnerabilidad frente a perturbaciones ambientales y fortalecer la resiliencia del sistema productivo.

En consecuencia, el modelo de regresión lineal múltiple aplicado en el estudio permitió demostrar que variables ecológicas como la biodiversidad vegetal y la materia orgánica del suelo explican una proporción significativa de la variabilidad observada en la productividad agrícola. Este resultado confirma que la estructura biológica del agroecosistema constituye un factor determinante en la estabilidad productiva de los sistemas agrícolas tropicales. Por consiguiente, el fortalecimiento de la biodiversidad vegetal mediante estrategias de diversificación productiva y manejo agroecológico se posiciona como una alternativa estratégica para promover sistemas agrícolas más resilientes, ambientalmente sostenibles y capaces de mantener su capacidad productiva en el largo plazo.

Referencias bibliográficas

Aguilar Antonio, J. M. (2021). Retos y oportunidades en materia de ciberseguridad de América Latina frente al contexto global de ciberamenazas a la seguridad nacional y política exterior. *Estudios Internacionales*, 53(198), 169–197. <https://doi.org/10.5354/0719-3769.2021.57067>

Ayala, F. M. C., y colaboradores. (2023). Mapeo del panorama actual de la ciberseguridad en la era moderna digital. *RECIMUNDO*, 7(2), 441–452. [https://doi.org/10.26820/recimundo/7.\(2\).jun.2023.441-452](https://doi.org/10.26820/recimundo/7.(2).jun.2023.441-452)

Balcázar Villarreal, M. (2023). Elementos para la conceptualización de la ciberseguridad nacional. *Trabajo Social UNAM*, (34), 30–44. <https://doi.org/10.22201/ents.20075987p.2023.34.88025>

Broncano, M. P. E., & Ávila Pesantez, D. F. (2021). Ciberseguridad en los sistemas de gestión de aprendizaje (LMS). *Ecuadorian Science Journal*, 5(1), 46–54. <https://doi.org/10.46480/ESJ.5.1.98>

Bueno, G., & Haz, L. (2022). Ciberseguridad post Covid-19 y su impacto en las pymes del Ecuador. *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, 6(46), 103–120. <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol6iss46.2022pp103-120>

Chamorro, A., Pupiales, S., & Hidalgo, J. (2022). Equipo de respuesta ante incidentes informáticos para la seguridad de la información (CSIRT-UPEC). *Sathiri*, 18(1), 220–229. <https://doi.org/10.32645/13906925.1200>

Cuesta, C. (2023). Inteligencia artificial aplicada a la ciberseguridad: desafíos y oportunidades en la detección de amenazas digitales. *Revista Polo del Conocimiento*, 8(4), 1274–1290. <https://doi.org/10.23857/pc.v8i4.5534>

Del Cisne Ríos Armijos, Y. (2022). Uso adecuado de redes sociales e internet para proteger la seguridad digital de los estudiantes. *Revista Scientific*, 7(25), 303–313.

<https://doi.org/10.29394/Scientific.issn.2542-2987.2022.7.25.16.303-313>

Enciso Suárez, J. R., Portilla Rodriguez, J. E., & Mendoza de los Santos, A. C. (2023). Análisis integral de los sistemas de detección de intrusos y sus algoritmos asociados en la seguridad de la información. *INGENIERÍA INVESTIGA*, 5. <https://doi.org/10.47796/ing.v5i0.840>

Flores Álava, S. R., & Mena Hernández, L. del R. (2023). Propuesta de buenas prácticas para mitigar ciberataques en usuarios de entidades financieras. *593 Digital Publisher CEIT*, 8(4), 159–173. <https://doi.org/10.33386/593dp.2023.4.1652>

Flores-Cedeño, E. (2022). Algoritmos de aprendizaje automático aplicados a la detección de intrusiones en redes informáticas. *Revista Ingeniar*, 5(2), 45–58. <https://doi.org/10.46296/ig.v5i2.0031>

Gómez Díaz, M. P., Aguilar Ramírez, L. J., Ramírez Peña, K. J., & Villamil Escobar, L. C. (2023). Difusión de la ciberseguridad en un mundo financiero para los adolescentes. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(6), 1891–1902. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i6.8821

Gordillo Chabla, P. C., Cuenca Tapia, J. P., & Campaña Ortega, E. M. (2023). Quick guide to an information security management system for an ISP: XNET case study. *ConcienciaDigital*, 6(4.2), 28–45. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v6i4.2.2751>

López López, H. L., Aguilera Zatarain, J. J., Rojas Solís, S., & Rendón Rendón, M. de los Á. (2023). Percepción de ciberseguridad en sistemas de inteligencia artificial en la educación superior. *Revista Digital de Tecnologías Informáticas y Sistemas*, 7(1), 115–122. <https://doi.org/10.61530/redtis.vol7.n1.2023.154.115-122>

Montes Gil, J. A., Isaza Cadavid, G., & Duque Méndez, N. D. (2023). Efecto de la selección de atributos en el desempeño de un IDS basado en machine learning para detección de

intrusos en ataques DDoS. *South Florida Journal of Development*, 4(2), 918–928.
<https://doi.org/10.46932/sfjdv4n2-023>

Montoya Villalba, D. A., & Montaña Varón, D. F. (2023). Diseño de un sistema de detección de intrusos (IDS) basada en técnicas supervisadas de anomalías mediante la aplicación de aprendizaje profundo. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(2). <https://doi.org/10.26507/paper.2877>

Muñoz Zambrano, C., & Zambrano Rendón, A. D. (2023). Security Operations Center, como modelo de gestión de ciberseguridad para el Hospital Especialidades de Portoviejo, Manabí-Ecuador. *MQRInvestigar*, 7(3), 3220–3236.
<https://doi.org/10.56048/MQR20225.7.3.2023.3220-3236>

Obregón-Martínez, R. (2023). Modelos de machine learning para la detección de ataques en sistemas de seguridad informática. *Perspectivas Investigativas Multidisciplinarias*, 6(1), 88–101. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7815532>

Perdigón Llanes, R. (2022). Suricata como detector de intrusos para la seguridad en redes de datos empresariales. *CIENCIA UNEMI*, 15(39), 44–53. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol15iss39.2022pp44-53p>

Pérez, S. B. (2022). Moral hazard situations and misaligned incentives in cybersecurity. *Revista Chilena de Derecho y Tecnología*, 11(2), 103–120. <https://doi.org/10.5354/0719-2584.2022.60821>

Pinango Bayas, Á. H., Méndez Naranjo, P. M., Caiza Méndez, D. G., & Barreno Naranjo, D. G. (2022). Plan de seguridad para plataformas web empleando normas ISO-27001 y considerando el OWASP Top 10-2017. *CIENCIA UNEMI*, 15(40), 1–15.
<https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol15iss40.2022pp1-15p>

Ramírez Patajalo, G. A. (2023). Seguridad en desarrollo web: mejores prácticas para proteger aplicaciones y datos. *Dominio de las Ciencias*, 9(3). <https://doi.org/10.23857/dc.v9i3.3552>

Rendón, M. (2023). Inteligencia artificial y ciberseguridad en entornos empresariales: análisis de técnicas de detección de amenazas. *Revista Sinapsis*, 15(2), 112–125. <https://doi.org/10.37117/s.v15i2.895>

Suárez, I. C., y colaboradores. (2022). Seguridad informática, metodologías, estándares y marco de gestión en un enfoque hacia las aplicaciones web. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 9(2). <https://doi.org/10.26423/rctu.v9i2.672>

Tenezaca, D. (2023). Sistemas inteligentes para la detección de intrusiones en redes computacionales. *Revista Tecnológica Espol*, 36(1), 55–67. <https://doi.org/10.37815/rte.v36n1.897>

Yagual, D. I. Q., y colaboradores. (2022). Una revisión del aprendizaje profundo aplicado a la ciberseguridad. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 9(1). <https://doi.org/10.26423/rctu.v9i1.671>

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés