

Revista Cubana de Ciencias Forestales

Volumen 14, 2026, enero-diciembre



Artículo original

Rehabilitación ecológica y estructura florística en sistema agroforestal chakra amazónico

Ecological rehabilitation and floristic structure in the Amazonian chakra agroforestry system

Reabilitação ecológica e estrutura florística no sistema agroflorestal chakra da Amazônia

Yoel Rodríguez Guerra^{1*} , Landy Lizbeth Malaver Gualinga¹ ,
Marilyn Raquel Chumapi Puma¹ , Amaury Pérez Matínez¹ ,
María Katharina Elizabeth De Decker¹ 

¹Universidad Estatal Amazónica. Ecuador.

*Autor para la correspondencia: yrodriguez@uea.edu.ec

Recibido: 16/03/2026.

Aprobado: 01/05/2026.

RESUMEN

Los sistemas agroforestales amazónicos integran componentes agrícolas y forestales que contribuyen a la sostenibilidad productiva y a la conservación de la biodiversidad. El objetivo del estudio fue proponer una estrategia de rehabilitación ecológica para la finca



Yana Rumi mediante la caracterización del sistema agroforestal chakra y la evaluación estructural del bosque secundario asociado. La investigación se desarrolló en la parroquia Madre Tierra, cantón Mera, provincia de Pastaza (Ecuador). Se aplicó un enfoque descriptivo basado en diagnóstico productivo participativo y evaluación florística. Para el análisis del bosque secundario se establecieron cuatro parcelas de 10 × 10 m bajo muestreo estratificado, donde se registraron especies arbóreas, abundancia y diámetro a 1.30 m. Se calcularon los índices de diversidad de Shannon, Simpson y el Índice de Valor de Importancia (IVI). El sistema chakra evidenció limitaciones edáficas asociadas a drenaje deficiente y procesos de acidificación que afectaron cultivos tradicionales. El bosque secundario presentó baja diversidad (H' promedio = 0,280) y dominancia estructural de *Apeiba membranacea* y *Piptocoma discolor*. La estrategia de rehabilitación propuesta incluyó diversificación agrícola con *Carica papaya* L., *Ananas comosus* (L.) Merr e *Hibiscus sabdariffa* L., incorporación de fertilización orgánica y enriquecimiento forestal con especies multipropósito. Los resultados indican que la integración de prácticas agroecológicas y enriquecimiento forestal puede mejorar la resiliencia ecológica y la funcionalidad productiva del sistema agroforestal.

Palabras clave: Agroforestería, chakra amazónico, diversidad florística, restauración ecológica, sistemas agroforestales.

ABSTRACT

Amazonian agroforestry systems integrate agricultural and forestry components that contribute to productive sustainability and biodiversity conservation. The objective of this study was to propose an ecological rehabilitation strategy for the Yana Rumi farm by characterizing the chakra agroforestry system and structurally evaluating the associated secondary forest. The research was conducted in the Madre Tierra parish, Mera canton, Pastaza province (Ecuador). A descriptive approach based on participatory production diagnosis and floristic evaluation was applied. For the analysis of the secondary forest, four 10 × 10 m plots were established using stratified sampling, where tree species, abundance, and diameter at 1.30 m. The Shannon and Simpson diversity indices and the Importance Value Index (IVI) were calculated. The chakra system showed edaphic limitations associated with poor drainage and acidification processes



that affected traditional crops. The secondary forest exhibited low diversity (average $H' = 0.280$) and structural dominance of *Apeiba membranacea* and *Piptocoma discolor*. The proposed rehabilitation strategy included agricultural diversification with *Carica papaya* L., *Ananas comosus* (L.) Merr, and *Hibiscus sabdariffa* L., incorporation of organic fertilization, and forest enrichment with multipurpose species. The results indicate that integrating agroecological practices and forest enrichment can improve the ecological resilience and productive functionality of the agroforestry system.

Keywords: Agroforestry, Amazonian chakra, floristic diversity, ecological rehabilitation, agroforestry systems.

RESUMO

Os sistemas agroflorestais amazônicos integram componentes agrícolas e florestais que contribuem para a sustentabilidade produtiva e a conservação da biodiversidade. O objetivo deste estudo foi propor uma estratégia de reabilitação ecológica para a fazenda Yana Rumi, caracterizando o sistema agroflorestal chakra e avaliando estruturalmente a mata secundária associada. A pesquisa foi realizada na paróquia de Madre Tierra, cantão de Mera, província de Pastaza (Equador). Foi aplicada uma abordagem descritiva baseada em diagnóstico participativo da produção e avaliação florística. Para a análise da mata secundária, foram estabelecidas quatro parcelas de 10 × 10 m utilizando amostragem estratificada, onde foram registradas as espécies arbóreas, a abundância e o diâmetro a 1,30 m. Os índices de diversidade de Shannon e Simpson e o Índice de Valor de Importância (IVI) foram calculados. O sistema chakra apresentou limitações edáficas associadas à drenagem deficiente e processos de acidificação que afetaram as culturas tradicionais. A mata secundária apresentou baixa diversidade (H' médio = 0,280) e dominância estrutural de *Apeiba membranacea* e *Piptocoma discolor*. A estratégia de reabilitação proposta incluiu a diversificação agrícola com *Carica papaya* L., *Ananas comosus* (L.) Merr. e *Hibiscus sabdariffa* L., a incorporação de fertilização orgânica e o enriquecimento florestal com espécies multiuso. Os resultados indicam que a integração de práticas agroecológicas e enriquecimento florestal pode melhorar a resiliência ecológica e a funcionalidade produtiva do sistema agroflorestal.



Palavras-chave: Agrofloresta, chakra amazônico, diversidade florística, restauração ecológica, sistemas agroflorestais

INTRODUCCIÓN

Los Sistemas Agroforestales (SAF) representan modelos de producción que integran especies arbóreas con cultivos agrícolas y, en algunos casos, ganadería, reproduciendo procesos ecológicos del bosque natural. Este enfoque contribuye a mantener la estructura del suelo, aumentar la materia orgánica, promover la ciclicidad de nutrientes y mejorar la resiliencia ecológica de los agroecosistemas (Manono y Mwami 2026). Además, los SAF constituyen reservorios bioculturales relevantes para comunidades indígenas y campesinas, al conservar especies nativas y prácticas de manejo vinculadas al conocimiento ancestral.

Diversos estudios evidencian que los SAF reducen la dependencia de insumos externos, mejoran los rendimientos agrícolas, diversifican ingresos y disminuyen los impactos ambientales derivados de la agricultura convencional (Pérez- Abadia, Medina- Arroyo y Navarro- Hevia 2024). Sin embargo, su implementación sigue siendo limitada en Ecuador debido a barreras institucionales, escasa asistencia técnica y resistencia cultural al cambio en sistemas de producción tradicionales.

En la Amazonía, los SAF y sistemas indígenas como las chakras cumplen funciones críticas en la conservación de la biodiversidad, el mantenimiento de servicios ecosistémicos y la mitigación del cambio climático. La rehabilitación ecológica en estos contextos busca recuperar la funcionalidad del ecosistema, restaurar la productividad y disminuir los efectos del cambio de uso de suelo, sin pretender necesariamente restablecer de manera íntegra las condiciones originales y naturales del ecosistema (Flores- Garnica, Flores- Rodríguez, Rivera- Leyva *et al.* 2024).

En la Amazonía ecuatoriana, los sistemas tradicionales conocidos como chakras representan una forma de manejo agroforestal ancestral desarrollada por comunidades indígenas, donde se combinan cultivos alimentarios, especies forestales y plantas medicinales. Estos sistemas cumplen un papel fundamental en la seguridad alimentaria y en la conservación del conocimiento biocultural.



No obstante, diversos procesos de transformación del uso del suelo, la pérdida de fertilidad edáfica y las limitaciones técnicas en el manejo productivo han afectado la sostenibilidad de estos sistemas. En este contexto, la rehabilitación ecológica se plantea como una estrategia orientada a restaurar la funcionalidad ecológica del ecosistema y mejorar su capacidad productiva mediante prácticas agroecológicas y enriquecimiento forestal.

La finca agroforestal Yana Rumi presenta problemas asociados a drenaje deficiente, pérdida de fertilidad del suelo y baja diversificación productiva, lo que limita el rendimiento de los cultivos tradicionales. Ante esta problemática, la evaluación estructural del bosque secundario y la caracterización del sistema chakra resultan fundamentales para diseñar estrategias de manejo sostenible. El objetivo del presente estudio fue proponer una estrategia de rehabilitación ecológica para la finca agroforestal Yana Rumi mediante la caracterización del sistema chakra y la evaluación de la estructura florística del bosque secundario asociado.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la finca Yana Rumi, ubicada en la comunidad Puerto Santa Ana, parroquia Madre Tierra, cantón Mera, provincia de Pastaza, Ecuador. La propiedad posee una extensión aproximada de 34 ha y se localiza en la zona UTM 18M, dentro de un clima megatérmico húmedo caracterizado por temperaturas medias anuales entre 21 y 22 °C y una precipitación anual que oscila entre 5000 y 5500 mm (GAD-MERA 2020). Los suelos corresponden al orden Inceptisol, con textura franco-arenosa, baja fertilidad natural y limitaciones de drenaje. La zonificación ecológica de la finca se elaboró mediante sistemas de información geográfica (SIG), integrando variables bióticas y presiones antropogénicas para la delimitación de las unidades de análisis del sistema productivo.

Diagnóstico productivo del sistema chakra

El diagnóstico del sistema agroforestal chakra se realizó mediante la aplicación de una entrevista semiestructurada a la propietaria, siguiendo los criterios metodológicos



propuestos para diagnósticos rurales participativos (Mantino, Burbi, Re *et al.* 2026). Se registraron variables como: composición florística agrícola; distribución espacial y temporal de cultivos, los ciclos productivos, la distancia de plantación; así como, las prácticas de manejo agronómico y fertilización implementadas en el sistema agroforestal.

Asimismo, se evaluó el uso de fertilizantes orgánicos y prácticas de manejo sustentable dentro del sistema productivo. Con base en la información obtenida se diseñó una propuesta de diversificación agrícola incorporando especies de interés productivo como *Carica papaya* L., *Solanum lycopersicum* L., *Ananas comosus* (L.) Merr. e *Hibiscus sabdariffa* L. (Rojas- Pardo, Beltrán- Vargas y Zafra- Mejía 2022). Además, para el mejoramiento del sistema chakra de la finca se consideraron prácticas básicas, que incluyeron la preparación del área, el establecimiento de distancias adecuadas de plantación y la aplicación de fertilizantes orgánicos, en función del ciclo de vida, la etapa de cosecha y la dinámica de salida de las especies dentro del sistema productivo.

El rediseño espacial del sistema productivo fue representado mediante un modelo tridimensional desarrollado en SketchUp Pro y visualizado posteriormente en Twinmotion, lo que permitió simular la organización del paisaje agroforestal.

Evaluación del bosque de respaldo ecológico

Para el análisis de la estructura del bosque secundario (3,67 ha), se establecieron cuatro parcelas de 10 × 10 m (100 m² cada una) mediante muestreo estratificado y distribución sistemática, con el fin de capturar la heterogeneidad estructural del sitio. En cada parcela se registraron las especies arbóreas, el número de individuos y el diámetro a la altura del pecho (DAP) a 1.30 m. La elección de parcelas de 100 m² respondió a su eficiencia para evaluar la composición y diversidad en ecosistemas tropicales, al permitir una mayor intensidad de muestreo y reducir el error en contextos de alta variabilidad espacial; además, su replicación favorece estimaciones robustas de la estructura forestal en bosques secundarios (Bernardes-da-silveira, Chaves-e-Carvalho, Nicoletti *et al.* 2022).



Para el análisis de la estructura y diversidad florística del bosque secundario se calcularon los siguientes índices ecológicos: índice de Shannon-Wiener (H'), índice de dominancia de Simpson ($1-D$), así como la equitatividad de Pielou (J') a partir de la abundancia y distribución de las especies registradas en las parcelas. Además, Índice de Valor de Importancia (IVI) se determinó mediante la suma de densidad relativa, frecuencia relativa y dominancia relativa para cada especie y se interpretó según los rangos (Bulega, Maliando Salim, Katani *et al.* 2023).

Análisis estadístico

Las diferencias en diversidad entre parcelas se evaluaron mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. La similitud florística entre parcelas se estimó mediante el índice de Sørensen. Asimismo, se aplicó la correlación de Spearman para analizar la relación entre dominancia y diversidad florística. Los análisis estadísticos y gráficos se realizaron utilizando los programas PAST versión 4.03 y R versión 4.3.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la zonificación de la finca, evidenciaron que el sistema productivo presenta una configuración espacial típica de sistemas agroforestales familiares amazónicos, donde coexisten áreas productivas y remanentes de bosque secundario que contribuyen a la estabilidad ecológica del paisaje.

La superficie destinada al sistema chakra fue de 0,37 ha, mientras que el bosque secundario ocupó 3,67 ha del predio. Este patrón de uso del suelo coincide con lo reportado para sistemas agroforestales tradicionales amazónicos orientados al autoabastecimiento y a la diversificación productiva (Figura 1).



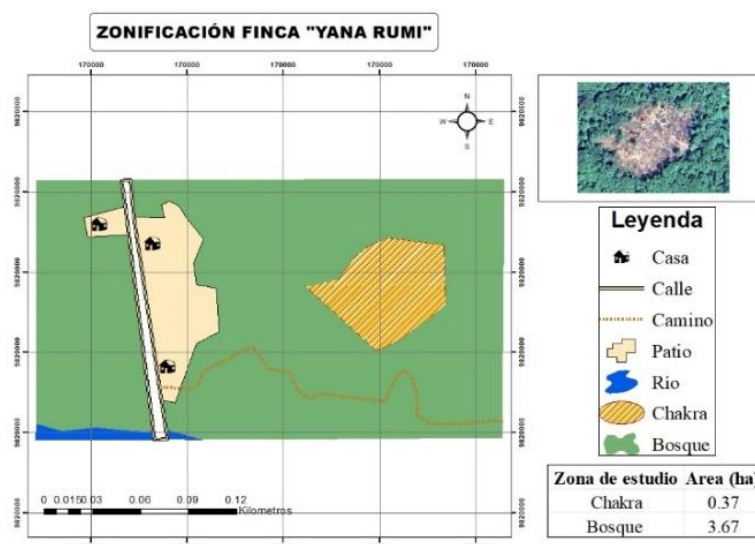


Figura 1. - Mapa conceptual del sistema agroforestal chakra evaluado

La información obtenida mediante la entrevista a la propietaria permitió corroborar que el sistema de manejo productivo se sustenta en conocimientos empíricos de base ancestral, transmitidos de forma intergeneracional dentro de la familia kichwa, lo cual coincidió con lo planteado por (Ramírez- Contreras, Castro- Ramírez, Yumbo *et al.* 2023).

Este proceso de transmisión cultural constituye un elemento central en la conservación de prácticas agroecológicas tradicionales propias del sistema chakra. Además, se identificó que la mano de obra familiar representa el principal soporte operativo de estas unidades productivas, las cuales se orientan predominantemente al autoabastecimiento alimentario y a la sostenibilidad socioeconómica del núcleo familiar.

Principales problemas en el sistema chakra

El análisis del terreno evidenció desniveles que propiciaron encharcamientos y formación de suelos lodosos, afectando la aireación, la estructura edáfica y la distribución de nutrientes. En estas áreas se observó la presencia de tonalidades rojizas en la superficie de suelo, relacionadas con la acumulación de hierro, característica asociada a procesos de acidificación. Esta condición limitó el crecimiento de cultivos fundamentales como *Manihot esculenta* Crantz, *Zea mays* L. y *Musa paradisiaca* L., y favoreció la proliferación de malezas, Figura 2.





Figura 2. - Áreas de la *chakra* en condiciones de inundación

Este comportamiento se correlacionó con la alta pluviosidad del cantón Mera, donde las precipitaciones superan los 5000 mm anuales, generando saturación hídrica en suelos de baja permeabilidad, en correspondencia con lo reportado por (Urdiales-Flores, Célleri, Mariéthoz *et al.* 2025) que además plantea que precipitaciones intensas y dinámica hidrológica en los Andes ecuatorianos han descrito mecanismos similares de escorrentía, saturación del suelo, acumulación de hierro en regiones de alta pluviometría y geomorfología montañosa, especialmente en cuencas tropicales y páramos andinos.

Caracterización agrícola de la chakra

Se registraron nueve especies de interés agrícola, pertenecientes mayoritariamente a las familias Euphorbiaceae, Poaceae y Musaceae (Tabla 1). *M. esculenta* (yuca), *Z. mays* (maíz) y *Musa paradisiaca* (plátano) presentaron la mayor representatividad, corroborando su importancia como cultivos base en sistemas *chakra* amazónicos.



Tabla 1. - Especies del sistema agroforestal chakra evaluado

Grupo	Nombre común	Nombre científico	Familia	Número de individuos
Cereal	Maíz	<i>Zea mays</i>	Poaceae	200
Frutales tropicales	Plátano	<i>Musa paradisiaca</i>	Musaceae	90
	Guineo seda	<i>Musa acuminata</i> Colla	Musaceae	30
Tubérculos y raíces	Yuca	<i>Manihot esculenta</i>	Euphorbiaceae	500
	Papachina	<i>Colocasia esculenta</i> (L) Scott	Araceae	30
	Camote	<i>Ipomoea batatas</i> (L) Lam.	Convolvulaceae	10
	Papa jibara	<i>Dioscorea trifida</i> L.F.	Dioscoreaceae	5
	Malanga	<i>Xanthosoma sagittifolium</i> (L.) Schott.	Araceae	1
Palma	Pambil	<i>Iriarteia deltoidea</i> Ruiz & Pav.	Arecaceae	8

Se determinaron asociaciones mixtas de especies, integradas de manera tradicional, sin patrones definidos de espaciamiento ni criterios agronómicos contemporáneos, aunque proveen alimentos básicos para consumo familiar. Esta organización coincidió con lo descrito para sistemas indígenas que priorizan el conocimiento ancestral sobre el diseño técnico del agroecosistema (Vera-Velez y Ramos-Veintimilla 2025).

Distribución espacio-temporal de los cultivos y fertilización

Se identificó una diversidad de cultivos anuales y perennes en la chakra, con ciclos que oscilaron entre 5 y 24 meses. *I. batatas* presentó un ciclo aproximado de 150 días, mientras que *M. esculenta*, *C. esculenta*, *X. sagittifolium* y *D. trifida* evidenciaron ciclos de 8 a 12 meses. Los cultivos perennes, como *M. paradisiaca* y *M. acuminata*, alcanzaron ciclos próximos a 12 meses, condicionados principalmente por las prácticas de manejo empírico aplicadas.

La organización espacial del sistema productivo respondió principalmente a criterios culturales del productor más que a un diseño técnico planificado. Esta configuración coincide con lo reportado por (Heras, Moreno Lopez, Quevedo *et al.* 2024), quienes señalan que la ausencia de planificación espacial en sistemas agroforestales tradicionales puede reducir la eficiencia productiva y favorecer la competencia entre especies, lo que



evidencia la necesidad de integrar estrategias agroecológicas y de conservación para fortalecer la resiliencia de los sistemas chakra (Figura 3).



Figura 3. - Distribución de especies agrícolas en condiciones de chakra

Se constató la ausencia de fertilización mineral u orgánica, empleándose únicamente las cenizas generadas por la quema del sotobosque y residuos vegetales del bosque como fuente tradicional de aporte de nutrientes al suelo (Figura 4). Este manejo coincidió con lo reportado por (Ramos- Rodríguez, Alcíval- Cobeña, Cedeño- Luna *et al.* 2022), quienes describieron prácticas similares en sistemas chakra orientados al autosustento. Asimismo, se observó que especies como *Dioscorea trifida* (papa jíbara), *Musa paradisiaca* (plátano) *Manihot esculenta* (yuca) y *Xanthosoma sagittifolium* (malanga), fueron establecidas directamente sobre las cenizas, en correspondencia con prácticas tradicionales. Dichas prácticas han sido señaladas como un factor relevante para la conservación de la diversidad vegetal, asociada al ciclo activo de la agricultura migratoria, el cual culmina con el abandono temporal de la chakra.



Figura 4. - Uso de cenizas como aporte nutricional en cultivos agrícolas en condiciones de chakra



Mejoramiento del sistema *chakra*

Se determinó la necesidad de incorporar nuevas especies agrícolas en relación al interés de la propietaria de la finca y se modificó distancias de siembra para favorecer el crecimiento y disminuir la competencia interespecífica. La propuesta integró *Carica papaya*, *Solanum lycopersicum*, *Ananas comosus* e *Hibiscus sabdariffa*, bajo criterios de compatibilidad ecológica y diversificación productiva para garantizar una gestión eficiente del tiempo y los recursos. Además, las salidas del sistema, tales como los productos cosechados y sus derivados.

Asimismo, se recomendó el uso de fertilización orgánica (compost, bocashi, estiércoles) que interviene en índice de calidad del suelo y la ampliación del área de cultivo a 1,5 ha para mejorar la capacidad productiva y la seguridad alimentaria. El establecimiento de un área formal de compostaje permitiría reducir desechos y promover prácticas agroecológicas sostenibles (Choque-Tarqui y Ticona-Quispe 2024).

Propuesta de rehabilitación

La propuesta integró especies con distintos ciclos productivos y funciones ecológicas (Figura 5). *Carica papaya* fue seleccionada como cerca viva debido a su capacidad para reducir la erosión, actuar como barrera física y adaptarse a suelos con variada textura. Asimismo, el empleo de materia orgánica procesada en el cultivo de papaya incrementa la disponibilidad de nitrógeno y otros nutrimentos minerales en el suelo (Bindu y Renjan 2025).

S. lycopersicum se integró con un espaciamiento de $0,40 \times 0,50$ m y fertilización con compost, micorrizas y ceniza (Bernados, Espineli, A. *et al.* 2024) (Alonso-López, Collado-Catalino, Barois- Boullard *et al.* 2015). *Ananas comosus* fue establecida con distancias de 0,30–0,50 m y fertilización orgánica (Martínez-Conde, Palacios-Torres, Ramírez-Seañez *et al.* 2024), mientras que *H. sabdariffa* requirió distancias de $0,70 \times 0,90$ m la cual puede incidir con el color rojo y separación de brácteas, además con el desarrollo del cáliz en relación al diámetro y peso seco (Aguar-Luna, Loeza- Corte y Alcántara-Jiménez 2023).





Figura 5. - Rehabilitación ecológica del sistema chakra

La inclusión de nuevas especies tuvo como finalidad optimizar la rotación de cultivos, restaurar la fertilidad del suelo y promover una mayor biodiversidad, aspectos fundamentales para la recuperación del sistema productivo. Asimismo, se fortaleció la seguridad alimentaria y la resiliencia del sistema. Desde el enfoque socioeconómico, se evidenció disposición para invertir en la diversificación y mejora de la finca con el propósito de incrementar la productividad del predio, lo cual coincidió con lo planteado por (Carvajal-Benavides, Mugmal- Farinango, Rosales-Enríquez *et al.*, 2024), quienes señalaron la necesidad de organizar áreas productivas en las chakras amazónicas, destacando la asociación entre cultivos de ciclo corto y perennes como una estrategia para favorecer la seguridad alimentaria familiar.

Para fortalecer la fertilización orgánica de la chakra, se implementó un módulo de compostaje de 2 × 3 m, el cual fue instalado bajo techo y construido con materiales locales, como paja toquilla y bases de chonta, garantizando así la sostenibilidad de la infraestructura. Asimismo, se mantuvieron los cultivos tradicionales presentes en la chakra, entre ellos *Manihot esculenta* (yuca), *Colocasia esculenta* (papachina), *Dioscorea trifida* (papa jíbara), *Zea mays* (maíz), *Ipomoea batatas* (camote), *Musa acuminata* (guineo seda), *Musa paradisiaca* (plátano) y (*Xanthosoma sagittifolium*) (malanga).

Análisis del índice de valor de importancia (IVI), diversidad florística y propuesta de rehabilitación

El análisis estructural del bosque secundario evidenció una dominancia marcada de especies pioneras, principalmente *Apeiba membranacea* y *Piptocoma discolor*, lo que indica



un estadio sucesional intermedio característico de ecosistemas sometidos previamente a perturbaciones. Este patrón es frecuente en bosques secundarios tropicales, donde las especies pioneras presentan alta capacidad de colonización y rápida regeneración tras cambios de uso del suelo o disturbios antrópicos (Huera-Lucero, Lopez-Piñeiro, Torres *et al.* 2024) (Tabla 2).

Tabla 2. - Índice de valor de importancia (IVI) en bosque secundario en la finca “Yana rumi”

Nombre científico	Abundancia relativa	Frecuencia relativa	Dominancia Relativa	IVI
<i>Lacmellea oblongata</i> Markgr	5	7	3,93	5,12
<i>Mouriri oligantha</i> Pilg	5	7	4,52	5,32
<i>Chimarrhis glabriflora</i> Ducke	5	7	5,80	5,74
<i>Grias neuberthii</i> J.F Macbr.	14	13	2,99	10,20
<i>Pourouma cecropiifolia</i> Mart.	24	20	3,78	15,86
<i>Piptocoma discolor</i> (Kunt) Pruski	33	27	9,65	23,22
<i>Apeiba membranacea</i> Spruce ex Benth.	14	20	69,34	34,54

Este patrón coincide con lo descrito para bosques secundarios tropicales donde especies de crecimiento rápido y alto potencial colonizador tienden a dominar la estructura inicial del dosel, limitando temporalmente la incorporación de especies tardías. En contraste, especies como *Lacmellea oblongata*, *Mouriri oligantha* y *Chimarrhis glabriflora* registraron valores bajos de IVI, lo que sugiere una participación estructural marginal dentro del ecosistema evaluado. Asimismo, la presencia abundante pero poco dominante de *Pourouma cecropiifolia* sugiere un estadio sucesional en transición donde la competencia por luz y espacio limita el desarrollo de individuos de mayor tamaño, fenómeno documentado en bosques secundarios amazónicos con perturbación (Solano- apuntes y Belezaca- Pinargote 2022).

Diversidad florística del bosque secundario de la finca y propuesta de rehabilitación

Los índices de diversidad mostraron valores bajos, con un índice promedio de Shannon de 0,280, lo que refleja una estructura florística simplificada y una alta dominancia de pocas especies y una baja redundancia funcional del ecosistema. Esta condición puede reducir la resiliencia ecológica frente a perturbaciones climáticas o antrópicas (Tabla 3).



Tabla 3. - Índices de diversidad alfa y estadísticos descriptivos por parcela

Índice/Parcela	P1	P2	P3	P4	Media	DE	CV (%)
Shannon (H')	0,145	0,277	0,366	0,333	0,280	0,097	34,7
Simpson (D)	0,022	0,020	0,056	0,111	0,052	0,043	81,3
Simpson (1 - D)	0,978	0,980	0,944	0,889	0,948	0,043	4,7
Simpson (1/D)	45,45	50,00	17,86	9,01	30,58	20,22	66,1
Equitatividad (J')	0,076	0,145	0,191	0,174	0,147	0,051	34,6

Legenda: DE: Desviación estándar. CV: Coeficiente de variación.

Estos resultados son consistentes con estudios realizados en bosques secundarios tropicales, donde las especies pioneras suelen dominar las primeras fases de regeneración después de disturbios antropogénicos.

La prueba de Kruskal-Wallis no detectó diferencias significativas entre parcelas ($H = 3,21$; $p = 0,22$), aunque las tendencias ecológicas mostraron contrastes relevantes en estructura y dominancia.

De manera complementaria, la matriz de similitud florística basada en el índice de Sørensen (Figura 6) reveló que las parcelas P3 y P4 compartieron la mayor similitud composicional (0,78), mientras que P1 presentó la menor similitud respecto al resto (0,40), lo que confirma la existencia de microambientes diferenciados dentro del sistema forestal.

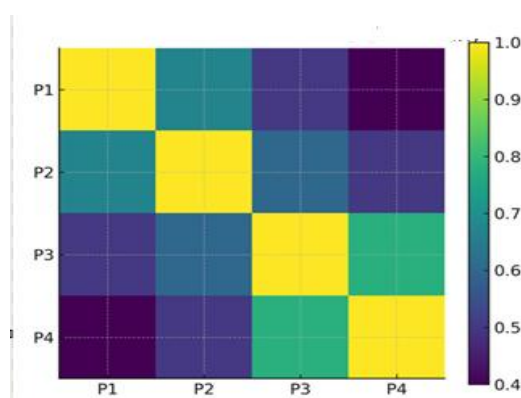


Figura 6. - Matriz de similitud entre parcela en según Índice de Sørensen



En términos funcionales, la dominancia de *P. discolor*, que representó aproximadamente 33 % de los individuos registrados, junto con la presencia significativa de *A. membranacea* y *P. cecropiifolia*, es indicativa de un bosque secundario en fase sucesional intermedia, donde la colonización por especies pioneras condiciona la dinámica estructural y limita temporalmente la incorporación de especies tardías.

Estudios ecológicos recientes han señalado que valores bajos de diversidad y equitatividad en bosques secundarios se asocian a menor resiliencia ecológica frente a perturbaciones, debido a la reducida redundancia funcional del sistema (Guerra-Martínez, García-Romero y Martínez-Morales 2021). En consecuencia, estos resultados respaldan la pertinencia de implementar estrategias activas de rehabilitación forestal orientadas a incrementar la complejidad estructural y funcional del ecosistema.

Bajo este enfoque, la rehabilitación propuesta se fundamentó en un modelo integrado de regeneración natural asistida y enriquecimiento forestal, priorizando claros y bordes del bosque para la introducción de especies de interés ecológico y económico. La evidencia científica ha demostrado que el enriquecimiento de bosques secundarios constituye una estrategia eficaz para acelerar procesos sucesionales, mejorar la supervivencia de plántulas y aumentar el potencial de captura de carbono en paisajes tropicales degradados (Oluwajuwon, Chazdon, Ota *et al.* 2024).

En este sentido, la estrategia productiva se estructuró en dos horizontes temporales complementarios. En el corto plazo (6–24 meses), la incorporación de especies multipropósito mediante estrategias de enriquecimiento forestal puede acelerar los procesos sucesionales y aumentar la complejidad estructural del sistema. Especies como *Bactris gasipaes*, *Ilex guayusa*, *Bixa orellana* e *Inga edulis*, cumplen funciones ecológicas clave, incluyendo fijación biológica de nitrógeno, regulación microclimática y provisión de productos forestales no maderables (Baker, Adami, Silva-Junior *et al.* 2025).

En un horizonte de mediano plazo (3–8 años), el enriquecimiento forestal se orientó hacia especies maderables de rápido crecimiento y alto valor económico, tales como *Cordia alliodor* (Ruiz & Pav.) Oken (laurel), *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb. (balsa) y *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake (pachaco), manteniendo simultáneamente individuos remanentes del bosque secundario con valor ecológico y estructural. Este enfoque



coincide con estudios recientes que destacan el papel de los sistemas tipo chakra amazónica en la conservación de biodiversidad, el secuestro de carbono y la sostenibilidad productiva de paisajes rurales amazónicos (Huera-Lucero, Lopez-Piñeiro, Torres y Bravo-Medina 2024). La articulación entre especies alimentarias, no maderables y maderables genera un sistema productivo estratificado que favorece la estabilidad ecológica y reduce los riesgos asociados a la dependencia de un solo cultivo.

No obstante, la implementación de estas estrategias enfrenta limitaciones biofísicas importantes. Las condiciones edáficas identificadas en el área de estudio, particularmente la saturación hídrica y la acidificación del suelo, pueden restringir el crecimiento de especies agrícolas y forestales al reducir la disponibilidad de nutrientes esenciales y favorecer procesos de lixiviación, fenómeno frecuente en suelos tropicales sometidos a alta precipitación. Asimismo, la ausencia de planificación espacial en las distancias de siembra y el patrón de distribución aleatorio de los cultivos incrementan la competencia interespecífica por luz y nutrientes, dificultan las labores de manejo y reducen la eficiencia productiva del sistema, tal como ha sido señalado en estudios recientes sobre sostenibilidad de sistemas agroforestales amazónicos (Heras, Moreno Lopez, Quevedo y Cuichan Paucar 2024).

En conjunto, los resultados sugieren que el bosque secundario evaluado presenta una estructura ecológica típica de sistemas en recuperación temprana, con baja diversidad, alta dominancia de especies pioneras y heterogeneidad espacial moderada entre parcelas. En este contexto, la integración de estrategias de rehabilitación, diversificación productiva y enriquecimiento forestal representa un enfoque viable para incrementar la resiliencia ecológica del sistema, mejorar la funcionalidad del paisaje y fortalecer la sostenibilidad socioeconómica de las unidades productivas amazónicas.

Desde una perspectiva de manejo adaptativo, la combinación de regeneración natural asistida con enriquecimiento selectivo y diversificación agroforestal puede acelerar la transición desde un bosque secundario empobrecido hacia un sistema más complejo, resiliente y productivo dentro del mosaico socioecológico amazónico.



CONCLUSIONES

El sistema agroforestal chakra de la finca Yana Rumi mantiene una organización productiva basada en conocimientos tradicionales que contribuyen a la seguridad alimentaria familiar, aunque presenta limitaciones edáficas y de manejo que afectan la productividad agrícola. El bosque secundario evaluado mostró baja diversidad florística y dominancia de especies pioneras como la *Apeiba membranacea* y *Piptocoma discolor*, lo que indica un ecosistema en fase sucesional intermedia. La estrategia de rehabilitación ecológica basada en diversificación agrícola, fertilización orgánica y enriquecimiento forestal constituye una alternativa viable para mejorar la resiliencia ecológica y la sostenibilidad productiva del sistema agroforestal amazónico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUILAR LUNA, M., LOEZA CORTE, M. y ALCÁNTARA JIMÉNEZ, J.Á., 2023. Cambios agronómicos y fisicoquímicos en cálices de hibiscus sabdariffa en función del ambiente y densidad de plantación. *Bioagro* [en línea], vol. 35, no. 2, pp. 83-96. ISSN 1316-3361, 2521-9693. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8931918>.
- ALONSO LÓPEZ, A., LÓPEZ COLLADO, C.J., BAROIS BOULLARD, I., PALAFOX CABALLERO, A. y QUIÑONES MONFIL, E., 2015. Evaluación de lombricomposta y tezontle en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo invernadero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* [en línea], vol. 6, no. 5, pp. 967-975. ISSN 2007-0934, 2007-9230. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5349256>.
- APUNTES, E.H.S. y PINARGOTE, C.E.B., 2022. Floristic and structural composition of secondary native forest remnants in the western Cordillera of the Ecuadorian Andes. *International journal of health sciences* [en línea], vol. 6, no. S1, pp. 14257-14268. ISSN 2550-696X. DOI 10.53730/ijhs.v6nS1.8645. Disponible en: <https://sciencescholar.us/journal/index.php/ijhs/article/view/8645>.



BAKER, J.C.A., ADAMI, M., SILVA-JUNIOR, C.H.L., SADECK, L.W.R., SMITH, C., HEINRICH, V.H.A., BARLOW, J., FERREIRA, J., CASSOL, H.L.G., ANDERSON, L.O., VON RANDOW, C., ARGLES, A.P.K., VON RANDOW, R.C.S., ELIAS, F., ARAGÃO, L.E.O.C., SITCH, S. y SPRACKLEN, D.V., 2025. Climate benefits of Amazon secondary forests – recent advances and research needs. *Environmental Research Letters* [en línea], vol. 20, no. 4, pp. 043001. ISSN 1748-9326. DOI 10.1088/1748-9326/adb984. Disponible en: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/adb984>.

BENAVIDES, J.G.C., FARINANGO, Y.C.M., ENRÍQUEZ, O.A.R. y BAJAÑA, E.M.L., 2024. Diseño del Sistema Agroforestal Tradicional Andino, respetando la diversidad biocultural, en la comunidad quichua de el manzanal, parroquia Caranqui, cantón Ibarra. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS* [en línea], vol. 6, no. 1, pp. 366-389. ISSN 2806-5794. DOI 10.59169/pentaciencias.v6i1.1004. Disponible en: <https://editorialalema.org/index.php/pentaciencias/article/view/1004>.

BERNADOS, L.C., ESPINELI, J.P., ANARNA, J.A. y AGGANGAN, N.S., 2024. Increasing Tomato Productivity through Integrated Nutrient Sources and Inoculation with Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Azospirillum spp. *Horticulturae* [en línea], vol. 10, no. 10, pp. 1056. ISSN 2311-7524. DOI 10.3390/horticulturae10101056. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2311-7524/10/10/1056>.

BERNARDES-DA-SILVEIRA, A., CHAVES-E-CARVALHO, S.-P., NICOLETTI, M.F., SILVA, C.-A., DRESCHER, R., PERES-DE-LIMA-CHAVES-E-CARVALHO, M., MADI, J.P.S., TOPANOTTI, L.-R., MARQUES-ZEVIANI, W. y ANDRADE, V.C.L. de, 2022. Impact of plot size on tropical forest structure and diversity estimation. *Revista de Biología Tropical* [en línea], vol. 70, no. 1, pp. 437-449. ISSN 0034-7744. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9436789>.



- BINDU, B. y RENJAN, B., 2025. Integrated Nutrient Management of Papaya (Carica papaya L.): Application of Microbial Consortium Enriched Organic Manures for Yield and Fruit Quality Enhancement. *International Journal of Plant & Soil Science* [en línea], vol. 36, no. 8, pp. 187-195. DOI 10.9734/ijpss/2024/v36i84849. Disponible en: https://journalijpss.com/index.php/IJPSS/article/view/4849?utm_source=chatgpt.com.
- BULENGA, G.B., MALIONDO, S.M.S., KATANI, J.Z. y NYBERG, G., 2023. Tree Species Diversity and Edaphic Factors Associated with Different Land Uses in Tropical Forest Ecosystems, Tanzania. *Open Journal of Ecology* [en línea], vol. 13, no. 10, pp. 759-772. DOI 10.4236/oje.2023.1310046. Disponible en: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=128723>.
- CONTRERAS, P.R., RAMÍREZ, J.C., YUMBO, J.A. y SANTI, J.S., 2023. Análisis del proceso productivo y costo de producción del plátano dominico hartón (musa aab simmonds) en sistemas de producción chakra, en la Amazonia Ecuatoriana. *Journal of Science and Research* [en línea], vol. 8, no. CIID-EQ-2023, pp. 1-17. ISSN 2528-8083. Disponible en: <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/2978>.
- GAD-MERA, 2020. *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Mera 2019-2025, incluyendo la Formulación del Plan de Uso y Gestión de Suelo*. 2020. S.l.: s.n.
- GARNICA, J.G.F., RODRÍGUEZ, A.G.F., LEYVA, R.R.R. y ZAVALA, M.E.L., [sin fecha]. Modelos ecológicos conceptuales de selva baja subcaducifolia y selva mediana subperennifolia perturbadas por incendios: Conceptual ecological models of subdeciduous lowland forest and subevergreen medium forest disturbed by fires. *e-CUCBA* [en línea], no. 22, pp. 34-45. ISSN 2448-5225. DOI 10.32870/e-cucba.vi22.348. Disponible en: <http://e-cucba.cucba.udg.mx/index.php/e-Cucba/article/view/348>.



GUERRA-MARTÍNEZ, F., GARCÍA-ROMERO, A., MARTÍNEZ-MORALES, M.A., GUERRA-MARTÍNEZ, F., GARCÍA-ROMERO, A. y MARTÍNEZ-MORALES, M.A., 2020. Evaluación de la resiliencia ecológica de los bosques tropicales secos: una aproximación multiescalar. *Madera y bosques* [en línea], vol. 26, no. 3, ISSN 1405-0471. DOI 10.21829/myb.2020.2631983. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1405-04712020000300301&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

HERAS-HERAS, M.C., MORENO-LÓPEZ, J.A., QUEVEDO-AMAY, D.V., CUICHAN-PAUCAR, S.H., HERAS-HERAS, M.C., MORENO-LÓPEZ, J.A., QUEVEDO-AMAY, D.V. y CUICHAN-PAUCAR, S.H., 2024. Pérdida de cobertura vegetal y los cambios de uso del suelo en la Amazonia ecuatoriana. *Agroecología Global. Revista Electrónica de Ciencias del Agro y Mar* [en línea], vol. 6, no. 10, pp. 89-104. ISSN 2665-0290. DOI 10.35381/a.g.v6i10.3579. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2665-02902024000100089&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

HUERA-LUCERO, T., LOPEZ-PIÑEIRO, A., TORRES, B. y BRAVO-MEDINA, C., 2024. Biodiversity and Carbon Sequestration in Chakra-Type Agroforestry Systems and Humid Tropical Forests of the Ecuadorian Amazon. *Forests* [en línea], vol. 15, no. 3, pp. 557. ISSN 1999-4907. DOI 10.3390/f15030557. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1999-4907/15/3/557>.

MANONO, B.O. y MWAMI, B., 2026. Agroforestry and Soil Health: A Review of Impacts and Potential for Sustainable Agriculture. *Earth* [en línea], vol. 7, no. 1, pp. 31. ISSN 2673-4834. DOI 10.3390/earth7010031. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2673-4834/7/1/31>.

MANTINO, A., BURBI, S., RE, M., FINOCCHI, M., RIPAMONTI, A., FERNÁNDEZ, M.P., SCHNABEL, S., LAVADO-CONTADOR, J.F., JÄGER, M., BAUMANN, M., BERNE, C., SCHMUTZ, U. y GABOUREL-LANDEVERDE, V.A., 2026. Enhancing ecosystem services to mitigate agro-environmental pressures: integrating participatory mapping and land suitability analysis for crop-livestock mixed farming and agroforestry systems. *Agroforestry Systems* [en



línea], vol. 100, no. 3, pp. 86. [consulta: 1 junio 2026]. ISSN 1572-9680. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10457-026-01461-3>.

MARTÍNEZ-CONDE, J., PALACIOS-TORRES, R.E., RAMÍREZ-SEÑEZ, A.R., AMADOR-MENDOZA, A., REYES-OSORNIO, M., YAM-TZEC, J.A., GUTIÉRREZ-HERNÁNDEZ, J.O. y HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, H., 2024. Impact of the Combination of Chemical and Organic Fertilization on the Growth and Yield of Pineapple under Two Shade Net Conditions. *Agronomy* [en línea], vol. 14, no. 5, pp. 1027. ISSN 2073-4395. DOI 10.3390/agronomy14051027. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4395/14/5/1027>.

OLUWAJUWON, T.V., CHAZDON, R.L. y OTA, L., 2024. Bibliometric and literature synthesis on assisted natural regeneration as an approach for tropical forest restoration. *Frontiers in Forests and Global Change* [en línea], vol. 7, DOI 10.3389/ffgc.2024.1412075. Disponible en: https://www.frontiersin.org/journals/forests-and-global-change/articles/10.3389/ffgc.2024.1412075/full?utm_source=chatgpt.com.

PARDO, M.R., VARGAS, J.B. y MEJÍA, C.A.Z., 2022. Tendencias metodológicas para la implementación de sistemas agroforestales en el marco del desarrollo sustentable: una revisión. *Madera y Bosques* [en línea], vol. 28, no. 1, pp. e2812279-e2812279. ISSN 2448-7597. DOI 10.21829/myb.2022.2812279. Disponible en: <https://myb.ojs.inecol.mx/index.php/myb/article/view/2279>.

PÉREZ ABADIA, D.F., MEDINA ARROYO, H.H. y NAVARRO HEVIA, J., 2024. Tipificación y caracterización de sistemas productivos agroforestales en comunidades del departamento del Chocó, Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* [en línea], vol. 25, no. 1, pp. 1. ISSN 0122-8706. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10120149>.

RAMOS-RODRÍGUEZ, M.P., ALCÍVAR-COBEÑA, A., CEDEÑO-LUNA, N.A. y MANRIQUE-TOALA, T.O., 2022. Usos tradicionales del fuego en las actividades agrícolas de la parroquia Convento, cantón Chone, Manabí, Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales* [en línea], vol. 10, no. 3, pp. 319-335. ISSN 2310-3469. Disponible en: <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/766>.



TARQUI, C.E.C., HURTADO, M.G. y QUISPE, C.T., 2024. Índices de calidad de suelo en Sistemas Convencional y Agroforestal de la Estación Experimental Sapecho. *Revista Ingeniería* [en línea], vol. 8, no. 20, pp. 49-59. ISSN 2664-8245. DOI 10.33996/revistaingenieria.v8i20.117. Disponible en: <https://www.revistaingenieria.org/index.php/revistaingenieria/article/view/138>.

URDIALES-FLORES, D., CÉLLERI, R., MARIÉTHOZ, G., BENDIX, J. y PELEG, N., 2025. Heavy Rainfall Patterns and High Streamflow Dynamics in the Southern Ecuadorian Andes. *Journal of Hydrometeorology* [en línea], vol. 26, no. 6, pp. 725-739. ISSN 1525-7541, 1525-755X. DOI 10.1175/JHM-D-24-0105.1. Disponible en: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/hydr/26/6/JHM-D-24-0105.1.xml>.

VERA-VELEZ, R. y RAMOS-VEINTIMILLA, R., 2025. Diversity and Environmental Challenges in the Ecuadorian Amazon: Integrating Agriculture and Conservation in the Face of Deforestation. *Diversity* [en línea], vol. 17, no. 11, pp. 792. ISSN 1424-2818. DOI 10.3390/d17110792. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1424-2818/17/11/792>.

Conflictos de intereses:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores:

Los autores han participado en la redacción del trabajo y análisis de los documentos.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

