

Revista Cubana de Ciencias Forestales

Volumen 13, número 1; 2025, enero-abril



Artículo original

Estructura, diversidad florística y almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de un bosque siempreverde piemontano en la Cordillera del Cóndor-Kutukú

Structure, floristic diversity and carbon storage in the aboveground biomass of a piemont evergreen forest in the Cordillera del Cóndor- Kutukú

Estrutura, diversidade florística e armazenamento de carbono na biomassa acima do solo de uma floresta perene do Piemonte na cordilheira Cóndor-Kutukú

Bertha Alvarado-Sarango¹ , Diego Ureta-Leones^{2*} , Darío Veintinilla-Ramos^{3, 4} ,
Nelson Jaramillo-Díaz⁴ 

¹Universidad Nacional de Loja, Ecuador.

²Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica, Universidad Estatal Amazónica, Ecuador.

³Centro de Investigaciones Tropicales del Ambiente y Biodiversidad, Universidad Nacional de Loja, Ecuador.

⁴Herbario Reinaldo Espinosa, Universidad Nacional de Loja, Ecuador.

*Autor para la correspondencia: bertha.alvarado@unl.edu.ec

Recibido: 28/12/2024.

Aprobado: 25/03/2025.

Publicado: 01/04/2025



RESUMEN

Los bosques piemontanos del sur de Ecuador albergan una composición única de especies forestales, lo que les otorga un valor excepcional desde el punto de vista de la conservación y el manejo sostenible. El objetivo de este estudio fue evaluar la composición, estructura, diversidad y el potencial de almacenamiento de carbono de un bosque siempreverde piemontano de la Cordillera del Cóndor-Kutukú. Se establecieron cinco parcelas de muestreo de 20 × 20 m, en las cuales se registraron todos los individuos leñosos, incluidas las palmas, con un diámetro a la altura del pecho (DAP) ≥ 10 cm. El inventario florístico permitió identificar un total de 48 especies, pertenecientes a 38 géneros y 21 familias botánicas. La estructura vertical del bosque presentó una distribución en forma de campana, con una mayor concentración de individuos en el estrato intermedio (10–19,99 m). La estructura horizontal mostró una distribución de J invertida, típica de comunidades forestales autosustentables. El área de estudio presentó una diversidad moderada, con un índice de Shannon-Wiener de 3,36. La biomasa aérea alcanzó un valor de 287,58 Mg ha⁻¹, lo que equivale a un stock de carbono almacenado estimado en 135,16 Mg ha⁻¹. Las especies con mayores valores de importancia ecológica fueron *Aniba muca* y *Wettinia maynensis*, destacándose por su abundancia y biomasa. Este estudio subraya la necesidad de implementar estrategias de manejo y conservación que protejan la funcionalidad de estos ecosistemas y promuevan su sostenibilidad ante las crecientes presiones antrópicas.

Palabras clave: Ecuador, forestal, conservación, Ecología, inventario.

ABSTRACT

The piemont forests of southern Ecuador harbor a unique composition of forest species, giving them exceptional value from the perspective of conservation and sustainable management. The objective of this study was to evaluate the composition, structure, diversity, and carbon storage potential of a Piemont Evergreen Forest in the Cordillera del Cóndor-Kutukú. Five 20 × 20 m sampling plots were established, in which all woody individuals, including palms, with a diameter at breast height ≥ 10 cm were recorded. The floristic inventory identified a total of 48 species belonging to 38 genera and 21



botanical families. The vertical structure of the forest presented a bell-shaped distribution, with a higher concentration of individuals in the intermediate stratum (10–19.99 m). The horizontal structure showed an inverted J distribution, typical of self-sustaining forest communities. The study area presented moderate diversity, with a Shannon-Wiener index of 3.36. Aboveground biomass reached 287.58 Mg ha⁻¹, equivalent to an estimated stored carbon stock of 135.16 Mg ha⁻¹. The species with the highest ecological importance were *Aniba muca* and *Wettinia maynensis*, notable for their abundance and biomass. This study highlights the need to implement management and conservation strategies that protect the functionality of these ecosystems and promote their sustainability in the face of increasing anthropogenic pressures.

Keywords: Ecuador, forestry, conservation, ecology, inventory.

RESUMO

As florestas do Piemonte, no sul do Equador, abrigam uma composição única de espécies florestais, o que lhes confere um valor excepcional do ponto de vista da conservação e do manejo sustentável. O objetivo deste estudo foi avaliar a composição, estrutura, diversidade e potencial de armazenamento de carbono de uma floresta perene do Piemonte na cordilheira Cóndor-Kutukú. Foram estabelecidas cinco parcelas amostrais de 20 × 20 m, nas quais foram registrados todos os indivíduos lenhosos, incluindo palmeiras, com diâmetro à altura do peito (DAP) ≥ 10 cm. O inventário florístico identificou um total de 48 espécies, pertencentes a 38 gêneros e 21 famílias botânicas. A estrutura vertical da floresta apresentou distribuição em forma de sino, com maior concentração de indivíduos no estrato intermediário (10–19,99 m). A estrutura horizontal apresentou uma distribuição em J invertido, típica de comunidades florestais autossustentáveis. A área de estudo apresentou diversidade moderada, com índice de Shannon-Wiener de 3,36. A biomassa acima do solo atingiu um valor de 287,58 Mg ha⁻¹, o que equivale a um estoque estimado de carbono armazenado de 135,16 Mg ha⁻¹. As espécies com maior importância ecológica foram *Aniba muca* e *Wettinia maynensis*, destacando-se pela abundância e biomassa. Este estudo ressalta a necessidade de implementar estratégias de gestão e conservação que protejam a funcionalidade desses ecossistemas e promovam sua sustentabilidade diante das crescentes pressões humanas.



Palabras-chave: Ecuador, silvicultura, conservação, ecología, inventário.

INTRODUCCIÓN

Los bosques tropicales son considerados los ecosistemas más biodiversos del planeta, albergando una riqueza excepcional de flora y fauna. Además, desempeñan funciones esenciales en los ciclos biogeoquímicos globales, como la regulación climática, la conservación hídrica y el almacenamiento de carbono (Wang *et al.*, 2024). Sin embargo, dentro de esta categoría, los bosques piemontanos han recibido menor atención a pesar de su relevancia ecológica. En particular, los bosques piemontanos del sur de Ecuador, situados en la zona de transición entre los bosques de tierras bajas y los bosques montanos, destacan no solo por su alta biodiversidad, sino también por los servicios ecosistémicos clave que proveen (Jadán *et al.*, 2021). Su ubicación transicional permite la coexistencia de especies propias de distintos gradientes altitudinales, otorgándoles un valor singular para la conservación y el manejo sostenible (Huera-Lucero *et al.*, 2024).

Ecuador, reconocido como un país megadiverso tanto en ecosistemas como en especies y culturas (Palacios *et al.*, 2017), ha concentrado la investigación científica en ecosistemas de mayor visibilidad, como los páramos y los bosques tropicales de tierras bajas (Jadán *et al.*, 2021). En contraste, los bosques piemontanos han sido menos estudiados, a pesar de su función crucial como corredores biológicos que conectan distintos hábitats y de su papel en la regulación hídrica y la captura de carbono, ambos esenciales para la mitigación del cambio climático (Ulloa *et al.*, 2018).

Uno de los ejemplos más representativos de estos ecosistemas es el bosque siempreverde piemontano de la Cordillera del Cóndor, en el sur de Ecuador. No obstante, su conservación enfrenta amenazas significativas debido a la deforestación y la degradación, impulsadas por la expansión agrícola y la explotación minera en la región (Jadán *et al.*, 2017). En particular, la provincia de Zamora Chinchipe ha registrado tasas alarmantes de pérdida forestal: se estima que en los últimos años se han perdido aproximadamente 94.353 hectáreas de bosque, lo que compromete no solo la biodiversidad, sino también la provisión de servicios ecosistémicos esenciales (González *et al.*, 2016; Vizúete *et al.*, 2023).



A pesar de su importancia ecológica, los bosques piemontanos continúan siendo poco estudiados en términos de estructura, composición florística y dinámica ecológica. La ausencia de información detallada dificulta la implementación de estrategias de manejo y conservación adecuadas. Estudios recientes han demostrado que estos bosques poseen un alto potencial para la mitigación del cambio climático debido a su capacidad de captura y almacenamiento de carbono, tanto en la biomasa aérea como en los suelos (Jadán *et al.*, 2017; Palacios *et al.*, 2017; Santander-Malo y García-Quintana 2022). Por ello, es fundamental avanzar en su caracterización ecológica para sustentar políticas de conservación y manejo sostenible (Rivas, Guerrero-Casado y Navarro-Cerrillo 2024).

En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo evaluar la composición, estructura, diversidad y potencial de almacenamiento de carbono del bosque siempreverde piemontano de la Cordillera del Cóndor - Kutukú, en la parroquia Timbara, provincia de Zamora Chinchipe. La información generada contribuirá al diseño de estrategias de conservación y manejo sostenible, promoviendo una mejor comprensión del papel ecológico de estos ecosistemas y su relevancia en la mitigación del cambio climático.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se desarrolló en el sector Martín Ujukam, parroquia Timbara, cantón y provincia de Zamora Chinchipe, enmarcado geográficamente entre 4°04'03.8"S y 78°55'23.4"W (Figura 1). La parroquia tiene una superficie de 128,71 km², una altitud de 1 048 m.s.n.m., precipitación anual promedio de 2.090 mm y temperatura media anual de 23,7 °C (León Abarca *et al.*, 2022).



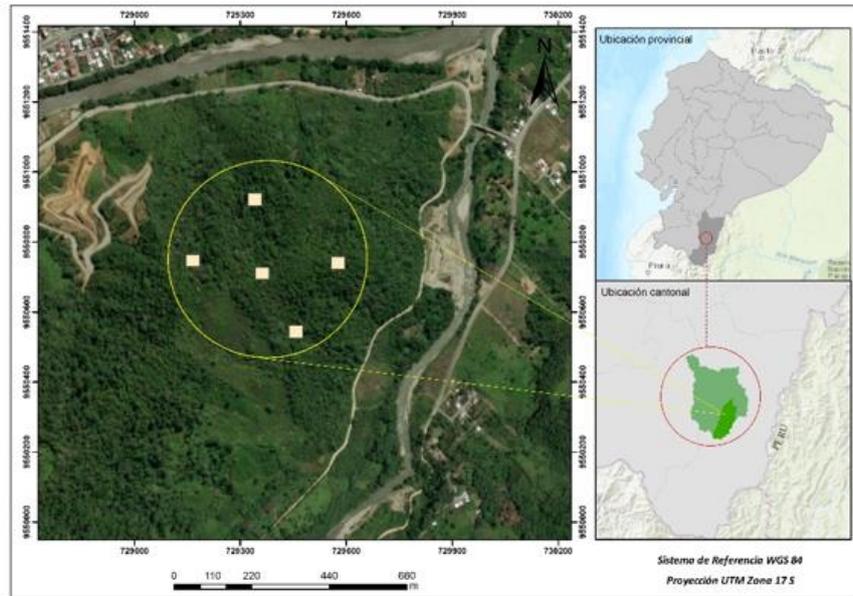


Figura 1. - Ubicación espacial del área de estudio

Levantamiento de información florística

Se llevaron a cabo recorridos sistemáticos en el bosque siempreverde piemontano para seleccionar sitios representativos, en los que se establecieron cinco parcelas de muestreo de 20 × 20 m (400 m²). Las parcelas se ubicaron a una distancia mínima de 200 m entre sí y a más de 60 m de caminos, senderos u otras coberturas vegetales, con el fin de minimizar el efecto de borde. Además, se consideró una pendiente máxima de 45° y se evitaron áreas con condiciones topográficas atípicas como cursos de agua o zonas anegadas. En cada parcela, se inventariaron todos los individuos leñosos, incluido palmas con un diámetro a la altura del pecho (DAP) ≥ 10 cm. A cada individuo se le asignó un código único, se registró su diámetro con una cinta diamétrica y su altura con un hipsómetro Vertex. La identificación taxonómica se realizó en campo cuando fue posible, y los especímenes no identificados se colectaron muestras botánicas y fueron enviadas al Herbario “Reinaldo Espinosa” para su identificación.



Parámetros estructurales

La estructura vertical del área de estudio fue evaluada mediante la estratificación del componente arbóreo en tres niveles: estrato inferior ($\leq 9,99$ m de altura), estrato intermedio (10 – 19,99 m) y estrato superior (≥ 20 m), siguiendo los criterios establecidos por García-Quintana *et al.* (2020). La estructura horizontal se determinó a través del diámetro de los individuos registrados en las cinco parcelas. Se agruparon en clases diamétricas con una amplitud de 10 cm. En cada clase, se determinó la cantidad de individuos de acuerdo con los límites establecidos para cada rango, siguiendo la metodología descrita por García-Quintana *et al.* (2020). Paralelamente, se calculó el Índice de Valor de Importancia (IVI) para cada especie mediante la suma de la densidad absoluta (D), densidad relativa (DR), frecuencia relativa (FR) y dominancia relativa (DmR), utilizando las fórmulas propuestas por Aguirre *et al.* (2022). Este enfoque permitió no solo analizar la distribución de los diámetros en la población estudiada, sino también caracterizar la estructura y la importancia ecológica de las especies en el ecosistema.

Determinación de la diversidad específica

De acuerdo con lo propuesto por Aguirre *et al.* (2022), se determinó la diversidad específica a través del Índice de Shannon, que integra tanto la riqueza de especies como su abundancia relativa en el ecosistema. Este índice evalúa la incertidumbre al predecir la identidad de una especie seleccionada al azar, proporcionando una medida robusta de la complejidad y estabilidad de la comunidad Ecuación 1.

$$H' = - \sum_{i=1}^S (P_i) (\log N P_i) \quad (1)$$

Donde:

H' = Índice de Shannon

S = Número de especies

P_i = Proporción de individuos que constituye la especie

$\log N$ = Logaritmo natural



Estimación de la biomasa aérea

Se realizó el cálculo de biomasa del estrato arbóreo, para lo cual se utilizó el método indirecto relacionando el DAP y densidad de madera de los árboles de cada parcela mediante la ecuación alométrica desarrollada por (Chave *et al.*, 2014): Ecuación 2

$$AGBest = \exp[-1,803 - 0,976E + 0,976\ln(p) + 2,673\ln(D) - 0,0299[\ln(D)]^2] \quad (2)$$

Donde:

$AGBest$ = Biomasa estimada en ($Mg\ ha^{-1}$)

D = Diámetro a la altura del pecho (cm)

p = Densidad básica de la madera (g/cm^3)

E = medida de stress ambiental

Los datos de densidad de la madera (p), para las especies de las cinco parcelas muestreadas se tomó de la Global Wood Density Database (<http://db.worldagroforestry.org/wd>). En caso de no disponer de identificación de especie, se utilizó el promedio de la densidad de madera a nivel de género. El coeficiente E se obtuvo a partir de una capa ráster global de 2.5 arc.sec. (<http://chave.upstlse.fr/pantropicalallometry.htm>).

Para la determinación de biomasa de palmas, se utilizó la ecuación propuesta por (Goodman *et al.*, 2013): Ecuación 3.

$$AGBpalm = \exp(-3,3488 + (2,7483 \times \ln DBH)) \quad (3)$$

Donde:

$AGBpalm$ = Biomasa estimada en ($Mg\ ha^{-1}$) para palmas

DBH = Diámetro a la altura del pecho (cm)

Estimación de carbono acumulado en la biomasa arbórea

Los valores estimados de biomasa para cada especie en las cinco parcelas de muestreo fueron multiplicados por una constante, según lo propuesto por (Jumbo Salazar, Arévalo Delgado y Ramírez-Cando 2018). Este cálculo permitió obtener el valor correspondiente al carbono fijado en la biomasa de cada especie Ecuación 4.



$$Cest = AGBest \times 0,47 \quad (4)$$

Donde:

$Cest$ = Carbono acumulado en la biomasa ($Mg \text{ ha}^{-1}$)

$AGBest$ = Biomasa estimada en ($Mg \text{ ha}^{-1}$)

0,47 = constante considerando que el 47 % de la biomasa de todo ser vivo es carbono.

RESULTADOS

Composición florística del área de estudio

En el inventario realizado sobre una superficie de 2,000 m², se registraron 48 especies de árboles con un DAP \geq 10 cm, distribuidas en 38 géneros y 21 familias botánicas, con un total de 156 individuos (Figura 2). La alta diversidad taxonómica evidencia la complejidad estructural del bosque y su potencial para albergar una variedad importante de especies arbóreas. Entre las 21 familias identificadas, las más diversas en términos de número de especies fueron Lauraceae y Melastomataceae, con seis especies cada una, seguidas por Moraceae con cinco especies, y Rubiaceae y Meliaceae con cuatro especies cada una. Esta predominancia de familias como Lauraceae y Melastomataceae sugiere una adaptación de estas especies a las condiciones locales, lo que refleja su potencial rol ecológico en la dinámica de sucesión y composición del ecosistema.

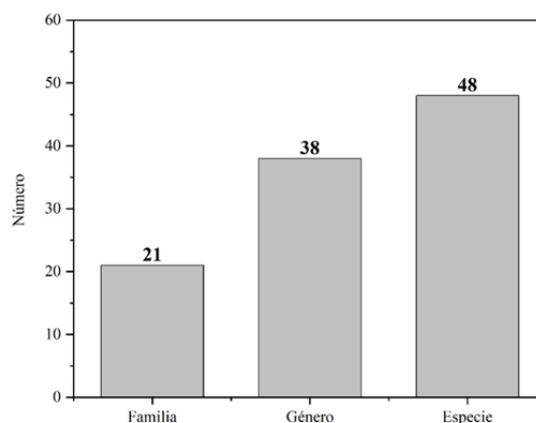


Figura 2. - *Composición florística del bosque siempreverde piemontano de la Cordillera del Cóndor – Kutukú.*



Características estructurales del área de estudio

La distribución de individuos en clases de altura permite describir la estructura vertical del bosque, proporciona información clave sobre su dinámica y composición. En el área de estudio, la población presentó una distribución de altura en forma de campana, con el mayor número de individuos concentrados en el estrato intermedio (10 - 19.99 m), que incluye 79 individuos y representa el 50.64% del total. Este fue seguido por el estrato superior (≥ 20 m), que registró 69 individuos, equivalentes al 44.23% de la población, mientras que el estrato inferior (≤ 9.99 m) incluyó solo ocho individuos, representando el 5.13% (Figura 3a). La predominancia de individuos en el estrato intermedio sugiere una estructura forestal en etapa de desarrollo, donde el crecimiento vertical y la competencia por la luz están activamente moldeando la comunidad. La presencia de un dosel que supera los 20 m, junto con algunos árboles emergentes, indica un bosque maduro con capacidad de sostener especies de gran porte. Es destacable la presencia de individuos emergentes como *Aniba muca*, que alcanzan alturas superiores a 30 m, lo que resalta la heterogeneidad estructural y la potencial función ecológica de estos árboles en la captura de carbono y en la formación de hábitats para la fauna arbórea.

La distribución de clases diamétricas constituye un descriptor clave de la estructura horizontal del bosque, revela patrones de regeneración y dinámica poblacional. En el área de estudio, la clase diamétrica con mayor número de individuos fue 10 - 19.99 cm de DAP con 98 registros que constituyen el 62.82% de la población total (Figura 3b). Este patrón de abundancia en las clases menores de diámetro sugiere una alta proporción de individuos jóvenes o en etapas iniciales de crecimiento, lo que indica un potencial de regeneración elevado.

La distribución diamétrica en forma de "J" invertida observada es característica de comunidades forestales autosustentables y relativamente uniformes en términos de estructura poblacional. Este tipo de distribución implica un flujo constante de individuos que alcanzan tamaños mayores a medida que se reduce la densidad en las clases diamétricas superiores, un signo de que el bosque posee una estructura demográfica estable y una dinámica de sucesión activa. Esto es indicativo de un bosque en buen estado de conservación, con una capacidad de regeneración adecuada para mantener la diversidad y la estabilidad estructural en el tiempo.



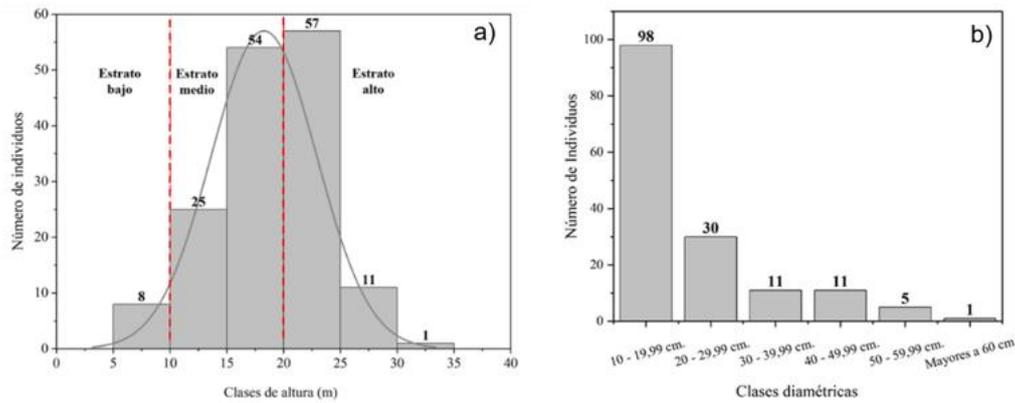


Figura 3. - Características estructurales del bosque siempreverde piemontano de la cordillera del Cóndor-Kutukú: a) Estructura Vertical; b) Estructura Horizontal

Leyenda: Líneas entrecortadas de color rojo muestran el límite de cada estrato vertical.

Importancia ecológica de las especies arbóreas del área de estudio

Las diez especies con mayor IVI registradas en el bosque siempreverde Piemontano de la Cordillera del Cóndor - Kutukú representan un valor ecológico de 61.92 de la flora presente, destacándose por su alta dominancia y abundancia. Entre estas, sobresalen *Aniba muca* con un IVI de 16.23, seguida de *Wettinia maynensis* con 11.05, *Jacaranda copaia* con 6.74, *Vochysia sp.* con 6.16, y *Ladenbergia oblongifolia* con 5.03 (Figura 4). Estas especies desempeñan un papel crucial en la estructura y dinámica del bosque, al influir en procesos ecológicos como la competencia por recursos, la formación de hábitats y la captura de carbono.

El resto de las 38 especies identificadas contribuyen con un valor ecológico de 38.08 del total, reflejando una comunidad arbórea diversa donde la mayoría de las especies tienen una menor representación en términos de dominancia y abundancia. Esta distribución desigual sugiere un bosque con una estructura jerárquica, típica de ecosistemas maduros, en los que unas pocas especies dominantes coexisten con una amplia variedad de especies menos frecuentes. Este patrón es indicativo de un ecosistema resiliente, capaz de sostener una alta biodiversidad y responder a cambios ambientales o perturbaciones naturales.



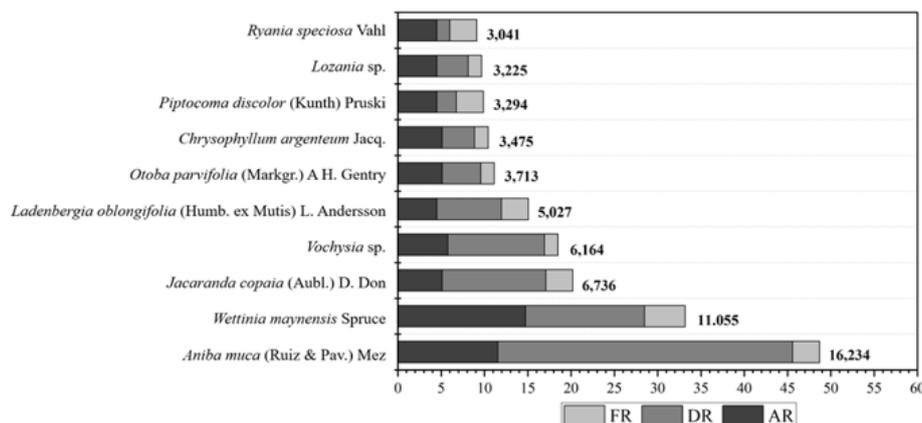


Figura 4. - Parámetros estructurales del bosque siempreverde piemontano de la Cordillera del Cóndor – Kutukú.

Leyenda: Dominancia Relativa (DR); Frecuencia Relativa (FR); Abundancia Relativa (AR).

Diversidad del área de estudio

A través del cálculo del Índice de Diversidad de Shannon-Wiener, se determinó que el bosque siempreverde piemontano de la Cordillera del Cóndor - Kutukú, en la parroquia Timbara, presentó una diversidad moderada con un valor de 3.36. Este resultado indica una composición equilibrada entre la riqueza de especies y su abundancia relativa, reflejando un ecosistema con una estructura biológica estable y una dinámica ecológica activa.

Un valor de diversidad media sugiere que el bosque alberga una variedad importante de especies, aunque no necesariamente alcanza los niveles máximos observados en ecosistemas más complejos, como los bosques húmedos tropicales de tierras bajas. Esta diversidad puede estar influenciada por factores como el gradiente altitudinal, la disponibilidad de recursos, y las condiciones climáticas locales. La presencia de un rango diverso de especies contribuye a la resiliencia del ecosistema, permitiéndole adaptarse a cambios ambientales y desempeñar funciones clave como la captura de carbono, el mantenimiento del ciclo hidrológico, y la provisión de hábitats para la fauna asociada. Este valor también resalta la importancia de la conservación de este ecosistema, que actúa como un reservorio de biodiversidad en la región.



Biomasa aérea y carbono almacenado

El inventario florístico realizado en el área de estudio permitió determinar una biomasa arbórea de 281.71 Mg ha⁻¹, complementada con una biomasa de 5.87 Mg ha⁻¹ correspondiente a las palmas, representadas predominantemente por *Wettinia maynensis*. En conjunto, la biomasa aérea total de árboles y palmas alcanzó un valor de 287.58 Mg ha⁻¹, lo que se traduce en un stock de carbono almacenado estimado en 135.16 Mg ha⁻¹.

Estos resultados destacan el importante rol del bosque como sumidero de carbono, lo que contribuye de manera directa a la mitigación del cambio climático al capturar y almacenar dióxido de carbono atmosférico (CO₂). La biomasa asociada a las palmas, aunque menor en proporción, subraya su relevancia en términos ecológicos, dado su papel en la dinámica del ecosistema y en la provisión de recursos para la fauna local (Tabla 1).

Tabla 1. - Biomasa sobre el suelo del componente arbóreo y de palmas del bosque siempreverde piemontano de la Cordillera del Cóndor-Kutukú

Biomasa aérea (árboles)	281,71 Mg ha ⁻¹	Carbono almacenado (árboles)	132,40 Mg ha ⁻¹
Biomasa área (palmas)	5,87 Mg ha ⁻¹	Carbono almacenado (Palmas)	2,76 Mg ha ⁻¹
Total, de biomasa aérea	287,58 Mg ha ⁻¹	Total, de carbono almacenado	135,16 Mg ha ⁻¹

DISCUSIÓN

La composición florística registrada en el bosque siempreverde piemontano de la Cordillera del Cóndor-Kutukú, en la parroquia Timbara, concuerda en términos generales con otros estudios realizados en la provincia de Zamora Chinchipe. Por ejemplo, en un bosque siempreverde montano bajo de la parroquia San Andrés, se reportaron 21 familias, 38 géneros y 48 especies, siendo Lauraceae y Melastomataceae



las familias con mayor riqueza específica (Aguirre Mendoza, Celi Delgado y Herrera Herrera 2018). Sin embargo, nuestros resultados difieren de lo observado en la microcuenca El Suhi, donde se identificaron 31 familias, 51 géneros y 59 especies, con predominio de Rubiaceae y Lauraceae (Maldonado Ojeda 2018). Asimismo, (Aguirre, Guayanay y Yunga 2022) en un bosque siempreverde del cantón Palanda, a 1,200 m.s.n.m., reportó como familias representativas a Myristicaceae, Lauraceae y Rubiaceae, evidenciando variaciones florísticas entre localidades altitudinalmente próximas. Este fenómeno sugiere un alto recambio de especies entre ecosistemas, probablemente influenciado por factores ambientales locales y la heterogeneidad del paisaje, aunque persisten elementos florísticos comunes en la región.

En contraste, estudios en bosques piemontanos de la Amazonía nororiental muestran diferencias importantes. Por ejemplo, en la provincia de Pastaza, un bosque siempreverde piemontano en la microcuenca del río Puyo registró 65 especies distribuidas en 30 familias, destacándose Fabaceae, Euphorbiaceae y Lauraceae (García-Quintana *et al.*, 2021). En la provincia de Napo, en la cuenca del río Piatúa, se identificaron 68 especies de 32 familias, predominando Arecaceae, Fabaceae y Moraceae (Patiño *et al.*, 2015). Estas diferencias florísticas reflejan la influencia de elementos de los bosques húmedos tropicales de la Amazonía ecuatoriana, donde factores como el régimen hídrico y el tipo de suelo juegan un rol determinante (Peñuela *et al.*, 2019).

La estructura vertical del bosque evidenció la presencia de árboles con alturas promedio superiores a 20 m, coherente con las características típicas de este tipo de bosque. En particular, el mayor número de individuos se concentró en los estratos intermedio y alto, que representan el 94.87 % del total, mientras que el estrato bajo mostró una menor densidad. Estos resultados contrastan con los hallazgos de (García-Quintana *et al.*, 2021; Aguirre Mendoza, Celi Delgado y Herrera Herrera 2018), quienes documentaron patrones dominantes en el estrato bajo e intermedio, lo que evidencia una distribución decreciente a medida que aumenta la altura. Las variaciones observadas podrían estar asociadas a la topografía montañosa, que influye en la dinámica de los ecosistemas y genera diferencias en la composición y estructura de los estratos verticales (García-Quintana *et al.*, 2020). Asimismo, la presencia de árboles emergentes, como *Aniba muca*, indica una complejidad estructural importante que contribuye al funcionamiento ecosistémico.



En cuanto a la estructura horizontal, el bosque presentó una distribución diamétrica en forma de "J" invertida. Este patrón, caracterizado por la predominancia de individuos en las primeras clases diamétricas (10–29.99 cm DAP), es típico de comunidades arbóreas autosostenibles y en regeneración activa (Santander-Malo y García-Quintana 2022). Sin embargo, las variaciones locales pueden atribuirse a dinámicas como la competencia interespecífica, diferencias en tasas de crecimiento y actividades antrópicas, incluyendo la tala selectiva (Freitas *et al.*, 2019; Espejo *et al.*, 2018).

El análisis del IVI indicó que cinco especies representan el 45.22 % de la estructura ecológica del bosque, destacándose *Aniba muca* por su mayor dominancia y *Wettinia maynensis* por su alta abundancia. Estos resultados son consistentes con lo reportado en un bosque siempreverde piemontano en Pastaza, donde *Wettinia maynensis* mostró un elevado IVI debido a su abundancia (García-Quintana *et al.*, 2020). No obstante, investigaciones en otras localidades han documentado diferentes especies dominantes, como *Alsophila cuspidata* en Zamora Chinchipe (Maldonado, 2018) y *Iriartea deltoidea* en Napo y Pastaza, con altos valores de IVI asociados a su capacidad de colonización en diversos nichos ecológicos (Patiño *et al.*, 2015). Esto refuerza la idea de que la estructura y composición de los bosques amazónicos piemontanos son altamente variables y están influenciadas por factores geográficos y ambientales.

La biomasa aérea registrada en el bosque estudiado fue de 287.58 Mg ha⁻¹, valor que coincide con estudios realizados en la Amazonía occidental, donde se han reportado biomasa promedio de 290 a 340 Mg ha⁻¹ (Torres *et al.*, 2020). Por otro lado, estudios en bosques con mayor intervención antrópica han reportado valores menores, como 199.4 Mg ha⁻¹ en Zamora Chinchipe (Jadán *et al.*, 2017) y 83 Mg ha⁻¹ en Morona Santiago (Jumbo Salazar, Arévalo Delgado y Ramírez-Cando 2018), lo que resalta la influencia del estado de conservación sobre la capacidad de almacenamiento de biomasa.

La estimación de carbono almacenado en el ecosistema analizado fue de 136.80 Mg ha⁻¹, valor que se encuentra dentro del rango reportado para otros bosques de la Amazonía ecuatoriana, como Sucumbíos (135.8 Mg ha⁻¹) y Zamora Chinchipe (153.57 Mg ha⁻¹) (Cabrera Quezada *et al.*, 2020). Estos resultados resaltan el papel fundamental de los bosques amazónicos como sumideros de carbono a escala global, contribuyendo



significativamente a la mitigación del cambio climático y a la conservación de la biodiversidad (Palacios *et al.*, 2017).

CONCLUSIONES

La investigación permitió determinar que el bosque siempreverde piemontano de la Cordillera del Cóndor - Kutukú posee una alta riqueza florística, estructuralmente compleja y con una notable capacidad de almacenamiento de carbono; se destacan especies con altos valores de importancia ecológica, como *Aniba muca* y *Wettinia maynensis*, que dominan tanto en abundancia como en biomasa. Estos resultados confirman que este ecosistema desempeña un rol crucial en la regulación del carbono atmosférico y en la conservación de la biodiversidad, reafirmando su valor ecológico y climático.

La estructura vertical y horizontal evidencia un bosque maduro, con un patrón típico de regeneración activa; su almacenamiento de carbono, estimado en 136.8 Mg ha⁻¹, se encuentra dentro de los rangos esperados para bosques piemontanos en buen estado de conservación. Este estudio resalta la necesidad de implementar estrategias de manejo y conservación que protejan la funcionalidad de estos ecosistemas y promuevan su sostenibilidad frente a las crecientes presiones antrópicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIRRE MENDOZA, Z., CELI DELGADO, H. y HERRERA HERRERA, C., 2018. Estructura y composición florística del bosque siempreverde montano bajo de la parroquia San Andrés, cantón Chinchipe, provincia de Zamora Chinchipe, Ecuador. *Arnaldoa* [en línea], vol. 25, no. 3, [consulta: 26 diciembre 2024]. ISSN 2413-3299. DOI 10.22497/ARNALDOA.253.25306. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2413-32992018000300006&lng=es&nrm=iso&tlng=en.



AGUIRRE, Z., GUAYANAY, D.R. y YUNGA, C.C., 2022. Estructura y composición florística de un bosque siempreverde montano bajo en un gradiente altitudinal en San Francisco del Vergel, Palanda, Zamora Chinchipe, Ecuador. *OPEN SCIENCE RESEARCH IX*. S.I.: Editora Científica Digital, pp. 227-241. vol. 9. ISBN 6553602352. Disponible en: <https://www.editoracientifica.com.br/books/chapter/estructura-y-composicion-floristica-de-un-bosque-siempreverde-montano-bajo-en-un-gradiente-altitudinal-en-san-francisco-del-vergel-palanda-zamora-chinchipe-ecuador>

CABRERA QUEZADA, M., SEGURA CHÁVEZ, E., SINCHE CHELE, F., MALDONADO ORTIZ, L. y TIERRAS MAYORGA, J., 2020. Estructura y estimación del carbono acumulado en el estrato arbóreo de un bosque siempreverde de tierras bajas: Caso Parque Ecológico Recreacional Lago Agrio, Sucumbíos, Ecuador. *Ciencia y Tecnología*, vol. 13, no. 1, ISSN 1390-4051. DOI 10.18779/CYT.V13I1.352. Disponible en: <https://revistas.uteq.edu.ec/index.php/cyt/article/view/329>

CHAVE, J., RÉJOU-MÉCHAIN, M., ... A.B.-G. change y 2014, undefined, 2014. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Wiley Online Library, M Henry, A Martínez-Yrizar, WA Mugasha, HC Muller-Landau, M Mencuccini, BW Nelson...Global change biology, 2014*•*Wiley Online Library* [en línea], vol. 20, no. 10, [consulta: 26 diciembre 2024]. DOI 10.1111/gcb.12629. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/gcb.12629> .

ESPEJO, J.C., MESSINGER, M., ROMÁN-DAÑOBEYTIA, F., ASCORRA, C., FERNANDEZ, L.E. y SILMAN, M., 2018. Deforestation and Forest Degradation Due to Gold Mining in the Peruvian Amazon: A 34-Year Perspective. *Remote Sensing 2018, Vol. 10, Page 1903* [en línea], vol. 10, no. 12, [consulta: 26 diciembre 2024]. ISSN 2072-4292. DOI 10.3390/RS10121903. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2072-4292/10/12/1903/htm> .

FREITAS, J. da L., DOS SANTOS, E.S., JUNIOR, F. de O.C., BORGES, C.H.A. y DOS SANTOS, A.C., 2019. Structural analysis and distribution patterns in lowland tropical forest, eastern Amazon. *Journal of Agricultural Studies*, [en línea] vol. 7, no.



4, <https://scispace.com/pdf/structural-analysis-and-distribution-patterns-in-lowland-4z3io8eo9l.pdf>

GARCÍA-QUINTANA, Y., ARTEAGA-CRESPO, Y., TORRES-NAVARRETE, B., BRAVO-MEDINA, C., ROBLES-MORILLO, M., GARCÍA-QUINTANA, Y., ARTEAGA-CRESPO, Y., TORRES-NAVARRETE, B., BRAVO-MEDINA, C. y ROBLES-MORILLO, M., 2021. Biomasa aérea de familias botánicas en un bosque siempreverde piemontano sometido a grados de intervención. *Colombia Forestal* [en línea], vol. 24, no. 1, [consulta: 26 diciembre 2024]. ISSN 0120-0739. DOI 10.14483/2256201X.15939. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-07392021000100045&lng=en&nrm=iso&tlng=es.

GARCÍA-QUINTANA, Y., ARTEAGA-CRESPO, Y., TORRES-NAVARRETE, B., ROBLES-MORILLO, M., BRAVO-MEDINA, C. y SARMIENTO-ROSETO, A., 2020. Ecological quality of a forest in a state of succession based on structural parameters: A case study in an evergreen Amazonian-Andean forest, Ecuador. *Heliyon*, vol. 6, no. 7, ISSN 24058440. DOI 10.1016/J.HELIYON.2020.E04592. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844020314365>

GONZÁLEZ, A., ANDRADE, G., SATHIRI, R.S.- y 2016, undefined, 2016. Perturbaciones humanas sobre la composición y estructura del bosque semideciduo mesófilo, reserva de la biósfera Sierra del Rosario, Cuba. *researchgate.net* [en línea], no. 10, [consulta: 5 octubre 2024]. DOI 10.32645/13906925.185. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Alfredo-Jimenez-Gonzalez/publication/332657758_Perturbaciones_humanas_sobre_la_composicion_y_estructura_del_bosque_semideciduo_mesofilo_reserva_de_la_biosfera_Sierra_del_Rosario_Cuba/links/5cd4567a92851c4eab8ef827/Perturbaciones-humanas-sobre-la-composicion-y-estructura-del-bosque-semideciduo-mesofilo-reserva-de-la-biosfera-Sierra-del-Rosario-Cuba.pdf.



GOODMAN, R.C., PHILLIPS, O.L., DEL CASTILLO TORRES, D., FREITAS, L., CORTESE, S.T., MONTEAGUDO, A. y BAKER, T.R., 2013. Amazon palm biomass and allometry. *Forest Ecology and Management*, vol. 310, ISSN 0378-1127. DOI 10.1016/J.FORECO.2013.09.045. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112713006592>

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 2024*, Vol. 15, Page 557 [en línea], vol. 15, no. 3, [consulta: 5 octubre 2024]. ISSN 1999-4907. DOI 10.3390/F15030557. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1999-4907/15/3/557/htm> .

JADÁN, O., DONOSO, D.A., CEDILLO, H., BERMÚDEZ, F. y CABRERA, O., 2021. Floristic groups, and changes in diversity and structure of trees, in tropical montane forests in the southern andes of Ecuador. *Diversity* [en línea], vol. 13, no. 9, [consulta: 5 octubre 2024]. ISSN 14242818. DOI 10.3390/D13090400/S1. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1424-2818/13/9/400/htm> .

JADÁN, O., QUIZHPE, W., PACHECO, E., AGUIRRE, Z., GONZÁLEZ, M., PONCE, E. y PEÑA, D., 2017. Riqueza florística y carbono almacenado en tres pisos altitudinales de bosques amazónicos, Zamora Chinchipe, Ecuador. *Bosques Latitud Cero* [en línea], vol. 7, no. 1, [consulta: 5 octubre 2024]. ISSN 1390-3683. Disponible en: <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/172>

JUMBO SALAZAR, C.A., ARÉVALO DELGADO, C.D. y RAMIREZ-CANDO, L.J., 2018. Medición de carbono del estrato arbóreo del bosque natural Tinajillas-Limón Indanza, Ecuador. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, vol. 27, no. 1, ISSN 1390-8596. Disponible en: <https://lagranja.ups.edu.ec/index.php/granja/article/view/27.2018.04>

LEÓN ABARCA, R., SUPERIOR TECNOLÓGICO JUAN MONTALVO, I., CHAMBA SALAZAR, V. y LEÓN LEÓN, L., 2022. Diagnóstico turístico en la parroquia Timbara, cantón Zamora, Provincia Zamora Chinchipe (Ecuador): Tourist diagnosis in Timbara parish, Zamora canton, Zamora. *revistas.ecotec.edu.ec* León,



VC Salazar, LL LeónRES NON VERBA REVISTA CIENTÍFICA, 2022•*revistas.ecotec.edu.ec* [en línea], vol. 12, no. 1, [consulta: 26 diciembre 2024]. DOI 10.21855/resnonverba.v12i1.607. Disponible en: <https://revistas.ecotec.edu.ec/index.php/rnv/article/view/607> .

MALDONADO OJEDA, S., 2018. Estructura y composición florística de un bosque siempreverde montano bajo en Palanda, Zamora Chinchipe, Ecuador. *Arnaldoa*, [en línea], vol. 25, no. 2, ISSN 18158242. DOI 10.22497/ARNALDOA.252.25216. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2413-32992018000200016

PALACIOS, B., MENDOZA, Z.A., LOZANO, D. y YAGUANA, C., 2017. Riqueza, estructura y diversidad arbórea del bosque montano bajo, Zamora Chinchipe-Ecuador. *Bosques Latitud Cero* [en línea], vol. 6, no. 2, [consulta: 5 octubre 2024]. ISSN 1390-3683. Disponible en: <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/233> .

PATIÑO, J., LOZANO C., P., TIPÁN, C., NAVARRETE, H., LÓPEZ, R., ASANZA, M. y TORRES, B., 2015. Composición florística y estructura de un bosque siempreverde piemontano de 600 a 700 m s.n.m. en la cuenca del río Piatúa, Napo, Ecuador. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, ISSN-e 1390-5600, ISSN 1390-5600, Vol. 4, No. 2, 2015, págs. 166-214 [en línea], vol. 4, no. 2, [consulta: 26 diciembre 2024]. ISSN 1390-5600. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5292893&info=resumen&idoma=SPA> .

PEÑUELA, M.C., BUSTILLOS-LEMA, M., ÁLVAREZ-SOLAS, S. y NÚÑEZ-AVELLANEDA, L.A., 2019. Reproductive phenology variation of the multiple inflorescence-palm tree *Wettinia maynensis* in relation to climate, in a Piedmont forest in western Amazonia. *Trees - Structure and Function* [en línea], vol. 33, no. 3, [consulta: 26 diciembre 2024]. ISSN 09311890. DOI 10.1007/S00468-019-01824-7/METRICS. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00468-019-01824-7> .



RIVAS, C.A., GUERRERO-CASADO, J. y NAVARRO-CERRILLO, R.M., 2024. Functional connectivity across dominant forest ecosystems in Ecuador: A major challenge for a country with a high deforestation rate. *Journal for Nature Conservation*, [en línea] vol. 78, ISSN 1617-1381. DOI 10.1016/J.JNC.2023.126549. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1617138123002200>

SANTANDER-MALO, V. y GARCÍA-QUINTANA, Y., 2022. Evaluación de biomasa aérea acumulada y sostenibilidad ecológica en bosques amazónicos: estudio de caso comunidad Cotocochar. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, [en línea] vol. 10, no. 1, ISSN 2310-3469. Disponible en: <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/719>

TORRES, B., VASSEUR, L., LÓPEZ, R., LOZANO, P., GARCÍA, Y., ARTEAGA, Y., BRAVO, C., BARBA, C. y GARCÍA, A., 2020. Structure and above ground biomass along an elevation small-scale gradient: case study in an Evergreen Andean Amazon forest, Ecuador. *Agroforestry Systems* [en línea], vol. 94, no. 4, [consulta: 26 diciembre 2024]. ISSN 15729680. DOI 10.1007/S10457-018-00342-8/METRICS. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10457-018-00342-8>.

ULLOA, A., CAMACHO, D., ARIAS, D., JUAN, • y VALVERDE, C., 2018. Análisis del mercado de biomasa forestal con fines energéticos en la zona de Guanacaste, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú* [en línea], vol. 15, no. 1, [consulta: 5 octubre 2024]. ISSN 2215-2504. DOI 10.18845/rfmk.v15i1.3722. Disponible en: <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/3722>.

VIZUETE, C., GAVILANES MONTOYA, D.D.;; HALLER, A., MARCHANT, C., YOSHIDA, M., DANIEL, D., VINICIO, A., MONTOYA, G., RENATO CHÁVEZ VELÁSQUEZ, C. y BORZ, S.A., 2023. A Critical Review on the Perspectives of the Forestry Sector in Ecuador. *Land 2023, Vol. 12, Page 258* [en línea], vol. 12, no. 1, [consulta: 5 octubre 2024]. ISSN 2073-445X. DOI 10.3390/LAND12010258. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-445X/12/1/258/htm>.

WANG, P., HAN, D., ZHANG, C., YU, F., WANG, X., HUANG, P., ZHANG, G. y LIU, S., 2024. Integrative analysis of nutrient dynamics and its hydrological pathways



in a tropical montane forest watershed: Implications for landscape management.
CATENA, vol. 246, ISSN 0341-8162. DOI 10.1016/J.CATENA.2024.108419.
Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816224006167>

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.

