

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN
RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



**RASGOS FUNCIONAL FOLIAR Y VEGETATIVO QUE INFLUYEN CARBONO
ALMACENADO EN BOSQUE DE COLINA DE TINGO MARÍA-PERÚ**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

PRESENTADO POR:

RICARDO OZORIAGA MALPARTIDA

Tingo María – Perú

2025



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 143-2025-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 14 de noviembre de 2025, a horas 10:00 a.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva para calificar la tesis titulada:

**“RASGOS FUNCIONAL FOLIAR Y VEGETATIVO QUE INFLUYEN CARBONO
ALMACENADO EN BOSQUE DE COLINA DE TINGO MARÍA -PERÚ”**

Presentado por el Bachiller: **OZORIAGA MALPARTIDA, RICARDO** después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de “MUY BUENA”.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 24 de diciembre de 2025

Dr. CASIANO AGUIRRE ESCALANTE
PRESIDENTE

Ing. MSc. JOSE ANTONIO BLAS MATIENZO
MIEMBRO



Ing. MSc. EDILBERTO DIAZ QUINTANA
MIEMBRO

Dr. EDILBERTO CHUQUILIN BUSTAMANTE
ASESOR

Ing. MSc. MAGDA VERÓNICA BAZAN LINARES
ASESOR



UNAS

VICERRECTORADO DE
INVESTIGACIÓNINSTITUTO DE
INVESTIGACIÓNUNIDAD DE SOPORTE
CIENTÍFICO
REPOSITORIO INSTITUCIONAL

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N 165 - 2026 - CS-RIDUNAS

El Jefe de la Unidad de Soporte Científico de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% y contenido generado por Inteligencia Artificial menor o igual al 20%. Según establece el Art. 29° y 30° del Acuerdo Nro.017-2025-CIUNAS-VRI-UNAS.

Programa de Estudio:

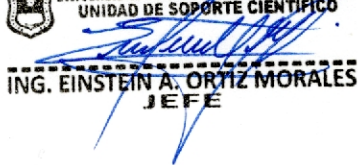
Ingeniería en Recursos Naturales Renovables

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE	
		SIMILITUD	CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL
RASGOS FUNCIONAL FOLIAR Y VEGETATIVO QUE INFLUYEN CARBONO ALMACENADO EN BOSQUE DE COLINA DE TINGO MARÍA-PERÚ	RICARDO OZORIAGA MALPARTIDA	15 % Quince	Menor a 20 %

Tingo María, 08 de junio de 2026.

 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO

ING. EINSTEIN A. ORTIZ MORALES
JEFE

C.C. Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES



RASGO FUNCIONAL FOLIAR Y VEGETATIVO QUE INFLUYEN CARBONO ALMACENADO EN BOSQUE DE COLINA DE TINGO MARÍA-PERÚ

Autor	: Ricardo Ozoriaga Malpartida
Asesores	: Dr. Edilberto Chuquilin Bustamante Ing. Químico Ms.C. Magda Verónica Bazán Linares
Área de investigación	: Valorización de la biodiversidad, recursos naturales y biotecnología
Grupo de investigación	: Ordenamiento del paisaje, gobernanza y adaptación al cambio climático
Línea de investigación:	: Ordenamiento del paisaje, gobernanza y adaptación al cambio climático
Lugar de ejecución	: Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva
Duración	: 07 meses
Financiamiento	: S/. 6 696,10
FEDU	: No
Propio	: Si
Otros	: No

Tingo María – Perú, 2025



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
OFICINA DE INVESTIGACIÓN
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA
SELVA**

**REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO
TÍTULO PROFESIONAL, INVESTIGACIÓN DOCENTE Y TESISISTA**

I. Datos generales

Universidad : Universidad Nacional Agraria de la Selva
Facultad : Facultad de Recursos Naturales Renovable
Escuela Profesional : Escuela Profesional de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables
Título de la Tesis : Rasgo funcional foliar y vegetativo que influyen carbono almacenado en bosque de colina de Tingo María-Perú
Objetivo general : Determinar rasgos funcionales foliar y vegetativo que influyen en el carbono almacenado en bosque de colina de Tingo María-Perú
Autor de la tesis : Ricardo Ozoriaga Malpartida
DNI : 74350256
Correo electrónico : ricardo.ozoriaga@unas.edu.pe
Asesor de la Tesis : Dr. Edilberto Chuquilin Bustamante
Ing. Químico Ms.C. Magda Verónica Bazán Linares
Área de investigación : Valorización de la biodiversidad, recursos naturales y biotecnología
Grupo de investigación : Ordenamiento del paisaje, gobernanza y adaptación al cambio climático
Línea de investigación : Ordenamiento del paisaje, gobernanza y adaptación al cambio climático
Lugar de ejecución : Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva
Fecha de inicio : 15 de enero del 2025
Fecha de término : 15 de agosto del 2025
Presupuesto : S/. 6 696,10
Financiamiento : Propio (x) FEDU () Externo ()

Tingo María, Perú, noviembre 2025

Ricardo Ozoriaga Malpartida
Tesista

Dr. Edilberto Chuquilin Bustamante
Asesor

Ing. Ms.C. Magda Verónica Bazán Linares
Asesor

DEDICATORIA

A Dios, por brindarme salud día a día el cual me permitió elaborar esta presente investigación, interceder en mi vida con mis peticiones y siempre estar protegiendo mis acciones.

A mis hermanos, Diego, Denis, Daniel, Jose y Pilar por su amor incondicional y ser mi fuente de inspiración para que mi persona se siga superando.

A mis docentes y asesores de mi alma mater UNAS, por brindarme sus conocimientos y apoyo incondicional en toda la etapa preuniversitaria hasta lograr esta investigación.

A mi padre Vicente Ozoriaga Gómez que siempre fue mi apoyo y soporte en vida y se que desde donde se encuentre sigue intercediendo por mi, igualmente a mi madre Celia Malpartida Medrano que nunca dudo de mi y hasta el día de hoy sigue siendo mi motivo de superación.

A toda mi familia en general, por ser el soporte que necesitaba en toda mi formación profesional, por aportar cada granito de arena para que hoy cumpla con una de mis metas.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme salud y bienestar diariamente, por su amor incondicional, por su protección y por ser siempre mi soporte de vida, darme fuerzas en los momentos más difíciles y por hacerme notar siempre de su existencia y de su apoyo hacia mi persona.

A los docentes de mi alma mater Universidad Nacional Agraria de la Selva, por siempre brindarnos las enseñanzas necesarias y cultivar los valores en cada uno de nosotros.

A mis asesores por siempre tener esa disposición de tiempo y ese interés que uno necesita para no sentirse solo en esta investigación.

A mi familia en general por siempre estar pendiente de mi bienestar y ser ese soporte incondicional, por el amor y ser mi motivo de superación.

A mis amigos Stalin Pardavé León, Víctor Álvarez Inocencio y Kevin Alvarado Matto, que fueron siempre ese apoyo incondicional universitario formando parte continua de mi formación profesional.

A mi enamorada Anabela Aracely Altamirano Vento, a la familia García Malpartida, a la familia Méndez Malpartida que se convirtieron en una segunda familia brindándome el apoyo incondicional y siempre impulsándome a ser mejor persona y profesional.

A mis jefes de trabajo, Mariana Antonieta Roeder Sattui, Ana Elizabeth Medina Baylon y Javier Raúl Fasabi Vela, por ser esa oportunidad laboral y siempre ese impulso y exigencia formando mi experiencia confiando en mis virtudes, al igual que a todo el equipo que acompaña la gestión brindándome enseñanzas.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Bases teóricas 4	
2.1.1. Composición química foliar.....	4
2.1.2. Grupos funcionales	4
2.1.3. Rasgos funcionales	4
2.1.4. Caracteres foliares en relación con los rasgos funcionales.....	5
2.1.5. El carbono	5
2.1.6. Almacenamiento de carbono	5
2.2. Estado del arte	6
2.2.1. Internacional	6
2.2.2. Nacional	7
2.2.3. Local	8
2.3. Bases conceptuales	9
III. MATERIALES Y MÉTODOS	11
3.1. Lugar de ejecución.....	11
3.1.1. Ubicación geográfica y política	11
3.1.2. Zona de vida.....	11
3.1.3. Clima.....	11
3.1.4. Fisiografía	12
3.1.5. Hidrografía.....	12
3.2. Material y métodos	12
3.2.1. Materiales y equipos	12
3.2.2. Metodología	12
3.2.2.1. Enfoque de investigación.....	12
3.2.2.2. Tipo de investigación.....	13
3.2.2.3. Nivel de investigación	13
3.2.2.4. Diseño de investigación.....	13
3.2.2.5. Población	13
3.2.2.6. Muestra	13
3.2.2.7. Variables de estudio	13
3.2.2.8. Selección y recolección del material vegetal.....	14

3.2.2.9. Rasgos funcionales foliares: área foliar específica (AFE), concentración de nitrógeno en hoja (CNF), concentración de carbono foliar (CCF), fosforo foliar (CPF) y contenido foliar de materia seca (CFMS)	16
3.2.2.10. Rasgos funcionales vegetativos: diámetro altura del pecho (DAP), área basal (AB), diámetro de la copa (DC), altura total (HT) y densidad de madera (DM)	16
3.2.2.11. Correlacionar y comparar el tipo de rasgo funcional de la planta (TFP)	18
3.2.3. Análisis estadístico.....	19
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
4.1. Rasgos funcionales foliares: área foliar específica (AFE), concentración de nitrógeno en hoja (CNF), concentración de carbono foliar (CCF), fosforo foliar (CPF) y contenido foliar de materia seca (CFMS)	20
4.2. Rasgos funcionales vegetativos: diámetro altura del pecho (DAP), área basal (AB), diámetro de la copa (DC), altura total (HT) y densidad de madera (DM) ..	20
4.3. Correlacionar y comparar el tipo de rasgo funcional de la planta (TFP).....	21
V. CONCLUSIONES.....	29
VI. PROPUESTAS A FUTURO.....	30
VII. REFERENCIAS	31
____ANEXOS	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Lista de especies de mayor densidad de vegetación Arborea de la PPM 4.	15
2. Rasgos funcionales foliares de las 10 especies seleccionadas en la PPM 4.	20
3. Rasgos funcionales vegetativos de las 10 especies seleccionadas.	21
4. Test de Dunn's post-hoc.	27
5. Datos de las 10 especies seleccionadas en la PPM 4.	41
6. Datos de rasgos funcionales foliares de las especies seleccionadas.	43
7. Datos de los rasgos funcionales vegetativos de las especies seleccionadas.	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Mapa de localización de la PPM 4: delimitación espacial del área de estudio.	11
2. Disposición y modo de desplazamiento de una parcela permanente.....	15
3. Método de medición de altura de árboles.....	17
4. ACP de los rasgos funcionales foliares y vegetativos.	23
5. Estrategia funcional de las especies seleccionadas.....	24
6. Autocorrelación de complemento de AFE, CMSF, DBM y EF.....	25
7. Prueba de Kruskal-Wallis para medianas iguales.....	25
8. Correlación de rasgos funcionales foliares y vegetativos.....	28
9. Análisis foliar especial de hojas de 10 especies seleccionadas.	44
10. Mediciones de la altura de los árboles en la PPM 4.	45
11. Mediciones del diámetro del fuste.....	45
12. Materiales y equipos para la evaluación de los rasgos funcionales foliares.....	46
13. Medición del área foliar de cada especie seleccionada.	46
14. Lectura del área foliar por especie.....	47
15. Registro de peso de hojas después del secado en horno.....	47

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo identificar los rasgos funcionales foliares y vegetativos asociados al almacenamiento de carbono en un bosque premontano de colina en Tingo María, Perú. La investigación se desarrolló en una parcela permanente de 1 ha, donde se evaluaron 550 árboles con $DAP \geq 10$ cm. Se registraron variables como área foliar específica (AFE), contenido foliar de C, N y P, contenido de materia seca foliar, diámetro a la altura del pecho, altura, diámetro de copa y densidad básica de madera (DBM). Los datos fueron analizados mediante regresiones lineales, análisis de componentes principales (ACP) y la prueba de Kruskal-Wallis, relacionando los rasgos funcionales con la biomasa aérea estimada a partir del modelo de Chave (2014) y el contenido de carbono calculado con un factor de 0,5. Los resultados indicaron que la DBM explicó el 89 % de la variación del carbono almacenado ($p < 0,001$). Las especies con $DBM \geq 0,54 \text{ g cm}^{-3}$ almacenaron hasta 2,3 veces más carbono que las especies con estrategias adquisitivas. El análisis de componentes principales evidenció un gradiente funcional hoja-madera que explicó el 68 % de la variación, separando especies de adquisición rápida (alta AFE y baja densidad de madera) de especies conservadoras (baja AFE y mayor densidad). Además, el Índice de Valor de Importancia se correlacionó fuertemente con el carbono foliar ($r = 0,82$), lo que sugiere que la abundancia y la densidad de madera permiten estimar el carbono de forma eficiente y no destructiva.

Palabras clave: carbono arbóreo; densidad básica; espectro económico foliar; bosque premontano; restauración climática.

ABSTRACT

The study aimed to identify the foliar and vegetative functional traits associated with carbon storage in a premontane hill forest in Tingo María, Peru. The research was conducted in a 1-ha permanent plot, where 550 trees with a diameter at breast height (DBH) ≥ 10 cm were evaluated. Variables such as specific leaf area (SLA), foliar C, N, and P content, foliar dry matter content, diameter at breast height, height, crown diameter, and basic wood density (BMD) were recorded. Data were analyzed using linear regressions, principal component analysis (PCA), and the Kruskal-Wallis test, relating the functional traits to aboveground biomass estimated from the Chave (2014) model and carbon content calculated with a factor of 0.5. The results indicated that BMD explained 89% of the variation in stored carbon ($p < 0.001$). Species with a biomass density (BMD) $\geq 0.54 \text{ g cm}^{-3}$ stored up to 2.3 times more carbon than species with acquisitive strategies. Principal component analysis revealed a leaf-to-wood functional gradient that explained 68% of the variation, separating rapidly acquiring species (high leaf abundance and low wood density) from conservative species (low leaf abundance and higher density). Furthermore, the Importance Value Index was strongly correlated with leaf carbon ($r = 0.82$), suggesting that wood abundance and density allow for efficient and non-destructive carbon estimation.

Keywords: tree carbon; basal density; foliar economic spectrum; premontane forest; climate restoration.

I. INTRODUCCIÓN

La Amazonía peruana alberga una increíble diversidad de plantas y animales, además de ofrecer servicios ecosistémicos vitales. Sin embargo, actividades humanas como la agricultura migratoria, la minería y la tala ilegal, así como los cultivos comerciales, han llevado a una rápida deforestación. En 2020, esta pérdida de bosques alcanzó las 203,272 hectáreas, lo que contribuyó con alrededor del 20% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (IPCC, 2007).

La investigación científica ha demostrado que los bosques tropicales tienen una capacidad superior para almacenar carbono en comparación con los bosques templados y boreales. Este descubrimiento ha llevado a un mayor interés en el estudio de la ecología funcional, que se enfoca en cómo los rasgos de las plantas nos ayudan a entender el ciclo global del carbono y los impactos del cambio climático. Los estudios realizados en bosques húmedos tropicales han mejorado las estimaciones de carbono en la biomasa aérea utilizando modelos alométricos (Chave et al., 2014). Sin embargo, la conexión entre la diversidad funcional y la cantidad de carbono almacenado en la biomasa, así como la productividad en estos ecosistemas, ha recibido menos atención (Finegan et al., 2015; Lohbeck et al., 2015).

La caracterización de Tipos Funcionales de Plantas (TFP) agrupa especies morfofisiológicamente similares para cuantificar cómo cada atributo contribuye al secuestro de carbono y a la biomasa total del ecosistema (Lavorel et al., 2013; Hoorens et al., 2010), y en los bosques tropicales la alta diversidad de especies potencia esta función al optimizar la captura de recursos mediante diferenciación de nichos y facilitación, de modo que el incremento de biomasa comunitario es proporcional a la abundancia y a las características funcionales presentes (Tilman, 1999; Díaz et al., 2011; Zhang et al., 2012).

La captura y almacenamiento de CO₂ dependen de características funcionales de las hojas que controlan la absorción de radiación fotosintéticamente activa (Warnock et al., 2006). Estudios realizados en el bosque natural de Isla Barro Colorado y en plantaciones mixtas de Sardinilla (Panamá) muestran que las especies con una baja masa foliar por área aumentan el almacenamiento de carbono en sistemas de plantación. Por otro lado, la presencia de árboles altos y con una alta masa foliar por área favorece este almacenamiento en bosques naturales (Ruiz et al., 2011).

Ciertos rasgos foliares, como la concentración de nitrógeno (NF), el área foliar específica (AFE), la concentración de carbono (CF) y el contenido de materia seca (CFMS), son cruciales para entender el manejo de recursos en plantas y la dinámica del carbono. Estos

factores se relacionan directamente con la capacidad fotosintética de las plantas para asimilar carbono (Conti y Díaz, 2013; Finegan et al., 2015). Las interacciones entre NF y AFE son vitales para la productividad primaria y los ciclos biogeoquímicos del ecosistema (Cornelissen et al., 1999; Reich et al., 1992).

Los rasgos funcionales como la densidad de la madera, la altura máxima, el área foliar, AFE y CFMS son predictores clave de los procesos ecosistémicos, influyendo en la supervivencia, competitividad, adquisición de recursos y tolerancia al estrés de las especies. También determinan propiedades del ecosistema como el almacenamiento de carbono en biomasa aérea y los ciclos biogeoquímicos (Díaz et al., 2016; Salgado-Negret, 2015). Estos rasgos, documentados en estudios de biomasa (Montes-Pulido, 2014), están directamente vinculados a servicios ecosistémicos esenciales, especialmente la regulación climática mediante el secuestro y almacenamiento de carbono (Houghton et al., 2009).

La investigación científica ha demostrado que un alto valor de área foliar específica (AFE) está relacionado con una mayor capacidad para realizar la fotosíntesis, lo que a su vez aumenta la fijación de carbono (Villar, 2004). Al mismo tiempo, se observó que existe una relación inversa entre el área foliar (AF) y el contenido de materia seca en las hojas (CFMS) (Taiz y Zeiger, 2006; De La Riva et al., 2014). La densidad de la madera (DM), que indica la cantidad de carbono almacenado por unidad de volumen en los tejidos leñosos (Chavé et al., 2009), es un indicador clave de cómo se asigna el carbono a las estructuras permanentes (Chavé, 2002). Estudios realizados en distintos continentes han identificado 21 rasgos funcionales que, en conjunto, explican las estrategias de las plantas relacionadas con el almacenamiento de carbono.

Este estudio se propone evaluar cómo se relacionan ciertos rasgos funcionales de las hojas, como el área foliar específica, la concentración de nitrógeno y carbono en las hojas, y el contenido de materia seca, con características vegetativas como el diámetro a la altura del pecho, el área basal, el diámetro de la copa, la altura total y la densidad de la madera. Todo esto se llevará a cabo en diez especies de árboles en un bosque de colina. La investigación se centrará en cuantificar la biomasa total, la biomasa por individuo y el carbono almacenado en la parte aérea, además de identificar los Tipos Funcionales de Plantas que están relacionados con la retención de carbono y cómo varían según el Índice de Valor de Importancia. También se examinarán las diferencias en la masa particulada crítica de los rasgos funcionales entre las especies arbóreas y su conexión con el almacenamiento de carbono, teniendo en cuenta la abundancia y dominancia de los individuos en el bosque. La pregunta que guía esta investigación es: ¿De qué manera los rasgos funcionales de las hojas y las características

vegetativas afectan la cantidad de carbono almacenado en el bosque de colina alta de Tingo María, Perú?

Esta investigación proporciona un marco fundamental para gestores forestales, autoridades ambientales, desarrolladores de proyectos y la comunidad científica. Los hallazgos sobre la interacción entre rasgos funcionales foliares y vegetativos en relación con el almacenamiento de carbono en bosques de colina representan una contribución sustancial para implementar estrategias de manejo forestal sostenible y fundamentar políticas de conservación basadas en evidencia científica.

Como hipótesis, se plantea que identificar los Tipos Funcionales de Plantas, basándose en características funcionales de las hojas y de la vegetación, puede ayudarnos a predecir la cantidad de carbono almacenado en el bosque de colina de Tingo María, Perú.

Los objetivos de la investigación son los siguientes:

Objetivo general:

- Determinar rasgos funcionales foliar y vegetativo que influyen en el carbono almacenado en bosque de colina de Tingo María-Perú.

Objetivos específicos:

- Evaluar rasgos funcionales foliares: área foliar específica (AFE), concentración de nitrógeno en hoja (NF), concentración de carbono foliar (CF), fósforo foliar (PF) y contenido foliar de materia seca (CFMS).
- Calcular rasgos funcionales vegetativos: diámetro altura del pecho (DAP), área basal (AB), diámetro de la copa (DC), altura total (HT) y densidad de madera (DM).
- Correlacionar y comparar el tipo de rasgo funcional de la planta (TFP).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Bases teóricas

2.1.1. Composición química foliar

La composición química de las hojas, como los carbohidratos no estructurales, la lignina y los compuestos fenólicos solubles, cumple un papel importante en el desarrollo de las plantas, ya que influye en su crecimiento, la acumulación de minerales y sus mecanismos de defensa (Dietze et al., 2014). Asimismo, el auto sombreado dentro del dosel arbóreo puede modificar tanto la estructura como la estructura química de las hojas ubicadas en los niveles inferiores (Niinemets et al., 2015; Poorter & Villar, 1997).

Las especies vegetales también presentan diferencias en su química foliar según su estrategia de crecimiento. Las especies de crecimiento rápido destinan más recursos a la fotosíntesis, lo que favorece una descomposición más acelerada de sus tejidos. En cambio, las especies de crecimiento lento invierten más en mecanismos de defensa y almacenamiento, por lo que sus hojas suelen descomponerse más lentamente (Grime, 1979). Además, las proporciones de carbono, nitrógeno y fósforo (C:N y C:P) presentes en las especies dominantes influyen directamente en los procesos ecológicos de las comunidades y los ecosistemas. De igual manera, la estructura química de los tejidos vegetales se relaciona con la capacidad de sostener redes de herbívoros (Bryant et al., 1983) y con la velocidad de desgaste de la hojarasca (Cornelissen, 1996).

2.1.2. Grupos funcionales

Los grupos funcionales reúnen especies que comparten estrategias ecológicas y presentan respuestas semejantes frente a las condiciones ambientales, por lo que ejercen efectos parecidos sobre el funcionamiento de los ecosistemas. La similitud en sus rasgos funcionales evidencia la relación existente entre la obtención de recursos y la manera en que estos son utilizados dentro del ecosistema (Leps et al., 2006).

2.1.3. Rasgos funcionales

Los rasgos funcionales, composiciones morfológicas, fisiológicas o fenológicas, determinan la respuesta de las plantas al entorno, moldeadas por la filogenia y las presiones ambientales (Felsenstein, 1985). Tradicionalmente, se estudian atributos foliares (área, área específica, materia seca; Wright et al., 2004), pero recientemente se ha incorporado la densidad de la madera (Chave et al., 2009) y rasgos hidráulicos del xilema (densidad y diámetro de vasos; Reich, 2014) para una comprensión más completa de los compromisos fisiológicos de las plantas (Díaz et al., 2016).

2.1.4. Caracteres foliares en relación con los rasgos funcionales

La investigación científica ha demostrado que ciertos rasgos funcionales, como el área foliar específica, las dimensiones de las hojas (tanto la longitud como el ancho), la tasa de asimilación neta y la razón de área foliar, son indicadores sólidos de las tasas máximas de crecimiento relativo en las plantas (Antúñez et al., 2001).

2.1.5. El carbono

Es un componente clave en los elementos orgánicos y se mueve por todo el planeta a través de la atmósfera, los océanos, el suelo y el subsuelo, formando reservorios esenciales en el ciclo biogeoquímico. Los procesos de respiración de las plantas y la actividad de los microorganismos en el suelo ayudan a reciclar el carbono del aire en un lapso de aproximadamente 20 años (FAO, 2014). En el ámbito agrícola, el carbono orgánico juega un papel crucial en la sostenibilidad, ya que altera los parámetros físico-químicos del suelo, lo que a su vez impacta en la productividad de los cultivos (Rojas, 2017).

El carbono cumple un rol crucial en el crecimiento de las plantas, ya que se absorbe del aire a través de la fotosíntesis. A lo largo de su vida o después de que las plantas mueren, los tejidos que contienen carbono se descomponen y se integran al suelo, donde son descompuestos por organismos. Sin embargo, el carbono orgánico en el suelo no se queda ahí para siempre; se libera de nuevo a la atmósfera por la respiración de microorganismos aeróbicos, que también utilizan carbono para crecer y desarrollarse (Huamancayo, 2013).

2.1.6. Almacenamiento de carbono

El carbono llega al suelo y a menudo se almacena durante períodos prolongados que pueden abarcar desde miles hasta millones de años (Burbano, 2018). Uno de los componentes clave en el ciclo global del carbono es el almacenamiento de COS (Martínez, Fuentes, & Acevedo, 2008), que representa el 70 % del carbono orgánico en la biosfera (Vallejos, 2021).

El COS cumple un rol importante en los parámetros físicos del suelo, como la textura, la densidad aparente, la porosidad, la conductividad hidráulica y el contenido de agua. Este componente esencial de la materia orgánica del suelo representa alrededor del 58 % de su composición (Vallejos, 2021). El COS está formado por restos de origen vegetal, animal y microbiano en diferentes etapas de desgaste, además de compuestos húmicos que con el tiempo se estabilizan en el suelo (Rojas, 2017). En los ecosistemas naturales, este carbono se mantiene en equilibrio dinámico gracias al aporte continuo de MO y a las pérdidas que ocurren por la actividad microbiana, la erosión y el lavado del suelo, procesos que movilizan y liberan carbono (Martínez, Fuentes y Acevedo, 2008).

2.2. Estado del arte

2.2.1. Internacional

Vendramini (2000) analizó la estequiometría foliar de 55 especies en un transecto climático del centro-oeste argentino, encontrando rangos de 31,2–49,0 % C, 0,52–4,33 % N y 0,03–0,40 % P, con razones C:N entre 9,7–94,5. La familia Buddlejaceae mostró los valores más altos de carbono, en tanto que Fabaceae destacó por almacenar mayores niveles de nitrógeno. Por su parte, Bromeliaceae mostró la relación C:N más elevada entre las familias evaluadas. En contraste, el fósforo foliar y las relaciones C:P y N:P fueron bastante similares entre los grupos. Cuando se excluyeron las especies de Fabaceae, conocidas por su capacidad de fijar nitrógeno del aire, la relación N:P aumentó de forma notable, evidenciando un rol importante de estas especies en la dinámica y disponibilidad de nutrientes en las plantas.

Passarelli analizó la morfología de diez especies del género *Canna* (Cannaceae, Zingiberales) presentes en regiones neotropicales y de Argentina, utilizando tanto material fresco como de herbario. El estudio mostró una alta variación ecológica, con especies adaptadas a ambientes acuáticos y otras a zonas sombreadas. Entre ellas, *Canna glauca* y *Canna fuchsina* se comportan como especies anfibia facultativas, capaces de desarrollarse bajo alta irradiación en ambientes palustres de clima templado húmedo. Otras especies, como *C. ascendens*, *C. lineata*, *C. tandilensis* y *C. variegatifolia*, se asocian a humedales mesotróficos con suelos temporalmente inundados y elevada exposición solar. En cambio, *C. coccinea*, *C. compacta* y *C. paniculata* son características de bosques pluviales húmedos y sombreados, aunque también pueden establecerse en zonas periféricas más húmedas. Finalmente, *Canna indica* destaca por su carácter generalista, desarrollándose en suelos húmedos, pero bien drenados dentro de regiones templadas.

Martínez (2019) en “Estimación de la captura de carbono y evaluación del riesgo del bosque urbano del Tecnológico de Antioquia Institución Universitaria” concluye que el estudio de la forma de la copa de los árboles reveló que 93 individuos tienen una forma excelente (círculo irregular) y 81 una forma aceptable (medio completo). Esto significa que 174 árboles, el 79% del total evaluado (220 individuos), presentan un desarrollo proporcional y de buena calidad. Sin embargo, se debe hacer seguimiento periódico al bosque urbano del TdeA para verificar su desarrollo en la línea del tiempo.

Guzmán (2020) articuló el vínculo entre el daño foliar y el síndrome funcional de hojas en especies adscritas a estrategias adquisitivas, intermedias y conservativas, muestreando tres parcelas permanentes de bosque secundario y maduro en Torca (Bogotá). El daño foliar abarcó 0–10 % de la superficie: tres especies registraron <2 %; cinco, 2–4 %; y

siete, 4–10 %. La densidad de la lámina se erigió como predictor negativo del daño (hipótesis corroborada), mientras que los rasgos restantes resultaron neutrales. La ausencia de otros indicios sugiere que factores como la herbivoría de baja intensidad, los cambios estacionales del clima, la ubicación de las hojas dentro del dosel y su composición química podrían estar influyendo en estos resultados. Además, las características foliares mostraron una distribución asociada al eje económico global de las plantas, lo que refleja el conocido espectro de “economía de tejidos” descrito en diversos estudios ecológicos.

2.2.2. Nacional

Silva (2018) identificó tres síndromes funcionales en 32 especies de árboles y arbustos presentes en la cuenca del Lucre, las cuales se encontraban sometidas a diferentes niveles de intervención humana a lo largo de un gradiente antropogénico. En zonas agrícolas, *Baccharis odorata* fue dominante (IVI = 91,50 %), mientras que *Ribes brachybotrys* (56,82 %) y *Barnadesia horrida* (50,80 %) predominaron en parcelas naturales y seminaturales, respectivamente. Los síndromes funcionales se clasificaron en tres grupos principales: TFP1, conformado por especies mesófitas con hojas pequeñas y baja capacidad de tolerancia frente a disturbios; TFP2, integrado por especies más tolerantes, con área foliar intermedia y elevada capacidad de reproducción clonal mediante rizomas; y TFP3, compuesto por especies heliófitas con hojas de mayor tamaño y una estrategia orientada a la rápida captación de recursos. El uso del suelo alteró significativamente la distribución del área foliar, los síndromes de dispersión y polinización, y la resiliencia de cada grupo, demostrando adaptaciones morfofuncionales graduales al impacto humano.

Aguirre et al. (2019) estudiaron los bosques montañosos de Tingo María para comprender cómo la densidad de la madera (DM), la altura máxima (Hmax) y el diámetro a la altura del pecho (DAP) se relacionan con las estrategias sucesionales. De los 518 árboles que estudiaron, un significativo 66,6 % mostraba un síndrome conservador (alta DM, $t = 40,8$; $p < 0,001$), en tanto que el 33,4 % mostraba una estrategia adaptativa (alta Hmax, $t = 2,8$; $p = 0,005$; DAP amplia, $t = 5,1$; $p < 0,001$). Estos hallazgos sugieren que la DM es un fuerte predictor de conservación, que la Hmax fomenta la colonización temprana y que el DAP favorece a las especies tolerantes en las comunidades clímax, lo que perfila un gradiente sucesional que podría orientar los esfuerzos de restauración basados en estos rasgos.

Zelada y Reynel (2019) estudiaron el área foliar (AF), el área foliar específica (AFE) y la densidad básica de madera (DBM) en dos especies arbóreas a lo largo de un gradiente altitudinal en la Reserva Comunal El Sira. Los resultados mostraron que estos rasgos respondieron significativamente a las zonas de vida, indicando que el AF, AFE y DBM

varían entre especies según la altitud, reflejando adaptaciones morfo-funcionales a las distintas condiciones ambientales.

Daiman (2020) analizó el aceite esencial de *Persea caerulea* "junjulí" mediante HS-GC-MS y GC-FID. Los terpenoides fueron predominantemente dominantes (97,47%), con el α -pineno como metabolito clave; se encontraron trazas de fenilpropanoides (0,09%) y compuestos alifáticos (2,44%). El aceite inhibió *E. coli* y *S. aureus*, mostró actividad fungistática contra *C. albicans* y demostró propiedades antioxidantes in vitro. El índice de similitud confirmó la reproducibilidad del patrón cromatográfico, lo que resalta la calidad química del aceite para aplicaciones farmacognósticas.

2.2.3. Local

Trinidad (2020) reestructuró funcionalmente una plantación de café abandonada en San Martín utilizando bloques Anderson espaciados, monitoreando la altura, el DAP y la cobertura de copa a los 6 y 12 meses. *Hevea guianensis*, *Clarisia racemosa*, *Calophyllum brasiliense* y *Nectandra amplifolia* mostraron un desempeño morfométrico superior ($p > 0,05$), mientras que *Cordia alliodora* presentó la mayor mortalidad. Las primeras cuatro especies se priorizan para la restauración ecológica regional.

Salazar (2022) relacionó las propiedades funcionales y los servicios ecosistémicos en un bosque de ladera de 7000 m² del proyecto BRUNAS. Las correlaciones de Pearson (0,10-0,60) y un coeficiente de correlación de Spearman (ρ) de -0,22 entre la densidad básica y la cobertura arbórea revelaron interacciones complejas y dependientes de la escala.

Minaya (2023) realizó un estudio en 1,4 hectáreas de BRUNAS dentro de un total de 23,02 hectáreas y descubrió que el 52 % de los individuos tenían un DAP que oscilaba entre 10 y 20 cm, mientras que entre el 77 y el 86 % se encontraban en el estrato medio. En la colina baja, se identificaron estrategias adaptativas en un 61,7 %, en tanto que en la colina alta predominaban las estrategias conservadoras, alcanzando un 59 %. Además, se observaron correlaciones débiles o incluso inversas, lo que sugiere la existencia de distintos filtros ambientales a lo largo del relieve.

Daviran (2024) vinculó, en bosque premontano de Tingo María (Perú), rasgos funcionales arbóreos con carbono almacenado y calidad edáfica mediante muestreo aleatorio sistemático en 25 subparcelas permanentes. El análisis de componentes principales posicionó la densidad de madera como driver absoluto del carbono arbóreo (89,55 % de la varianza; 97,95 t C ha⁻¹), mientras el carbono orgánico del suelo (40,70 t C ha⁻¹) correlacionó débil con los rasgos, pero fuerte (Pearson, $p < 0,01$) con pH y nitrógeno. Los rasgos modulan

directamente el pool arbóreo e indirectamente la sensibilidad del suelo, clasificado como “Sensible” según índices de calidad.

Domínguez (2024) estudió *Parkia panurensis* en 14 parcelas de BRUNAS, hallando una densidad arbórea uniforme de ~7 árboles/hectárea. Observó que el 75% de la altura máxima se alcanzó en el estrato medio de colina alta, en tanto que el 42,9% del DAP de 10-20 cm fue más común en la colina baja. Las copas alcanzaron 9,6 m en colina baja vs. 6,5 m en colina alta. A pesar de estas diferencias, los rasgos foliares y la densidad básica no variaron, sugiriendo plasticidad morfológica sin cambios en la anatomía leñosa o economía foliar.

Aguirre (2025) evaluó la estrategia foliar de *Senefeldera inclinata*, *Pourouma minor* y *Dacryodes nitens* en la selva alta de Tingo María, analizando variables como materia seca (MS), área foliar (LA), área foliar específica (SLA) y la relación estequiométrica C-N-P. Los resultados mostraron que *Dacryodes nitens* presentó los valores más altos de materia seca (4,59 %) y área foliar (277,59 cm²), sugiriendo una estrategia más conservadora, enfocada en la estructura y el soporte de la planta. En cambio, *Senefeldera inclinata* destacó por sus mayores contenidos de carbono (39,63 %) y nitrógeno (3,43 %), rasgos asociados a una mayor eficiencia en la captación y uso de nutrientes. En conjunto, estas diferencias reflejan que ambas especies ocupan posiciones opuestas dentro del espectro económico foliar, mostrando distintos niveles de adaptación funcional.

En el bosque secundario de Tulumayo, Aponte documentó 252 árboles por hectárea y 35 morfoespecies, con *Eugenia feijoi* dominando las zonas de regeneración. El análisis funcional reveló estrategias contrastantes: *Ochroma pyramidale* exhibió una alta área foliar específica (181 cm² g⁻¹), indicando rápido desarrollo, mientras que *Sapium glandulosum* mostró valores más bajos (81 cm² g⁻¹), sugiriendo una estrategia conservadora. Más del 50 % de las especies tenían densidades de madera superiores a 0,54 g cm⁻³, y la autocoria fue la dispersión de semillas principal. Estos hallazgos resaltan el rol importante de los bosques secundarios en la recuperación ecosistémica y la biodiversidad.

2.3. Bases conceptuales

La composición química.- conjunto de elementos y compuestos químicos que conforman una sustancia, ya sean átomos, moléculas o estructuras más complejas.

El análisis químico orgánico.- ayuda a la identificación de componentes como carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre en distintos tipos de muestras. Este tipo de análisis se aplica en materiales como carbones, biocombustibles, cenizas, grafito, combustibles líquidos, nanotubos, fibras de carbono, zeolitas y aceros.

El nitrógeno (N).- Es un elemento que abunda en nuestra atmósfera, representando alrededor del 78 % de su composición. Además, forma parte de la materia orgánica que está en el suelo. Sin embargo, tanto el nitrógeno presente en el aire como el que se encuentra en forma orgánica no pueden ser utilizados directamente por las plantas. Para que las plantas puedan absorber el nitrógeno, este debe transformarse primero en amonio (NH_4^+) y/o nitrato (NO_3^-), que son las formas que las plantas pueden asimilar.

El fósforo (P).- Es un elemento clave para el crecimiento y desarrollo de las plantas. La mayoría de los suelos carecen de formas de fósforo que las plantas puedan absorber, lo que hace necesario el uso de fertilizantes fosforados para lograr altos niveles de productividad. Sin embargo, gran parte del fósforo que se aplica se fija rápidamente en el suelo en formas que las raíces de las plantas no pueden utilizar fácilmente. La forma en que el fósforo interactúa con otros nutrientes del suelo es crucial para la absorción, el transporte y el uso de este elemento por las plantas.

El carbono (C).- Es fundamental, ya que forma la estructura de todas las moléculas orgánicas. Es la unidad básica que sostiene la vida de las plantas. Estas absorben carbono de la atmósfera en forma de CO_2 . A través del proceso de fotosíntesis, este elemento se combina con hidrógeno y oxígeno para crear carbohidratos.

Los caracteres foliares.- Son las diferentes partes de las hojas que podemos medir o estimar.

Área foliar específica (SLA).- Índice clave de economía foliar que cuantifica el área fresca (cm^2) por unidad de masa seca (g); actúa como proxy inverso de densidad y espesor laminar. Su tamaño influye directamente en la capacidad de captar luz y en la distribución de nitrógeno y carbono dentro de la planta, lo que repercute en la velocidad de crecimiento. Por ello, se considera un factor clave dentro del espectro de estrategias funcionales de las especies vegetales. (Gómez, 2020).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

Se desarrolló en la Parcela Permanente de Monitoreo (PPM) N.º 4, con una extensión de una hectárea, ubicada en el Bosque Reservado de la UNAS. Esta parcela viene siendo monitoreada de manera continua desde aproximadamente el año 2001.

3.1.1. Ubicación geográfica y política

El sitio de muestreo (PPM N.º 4) se fijó a 860 msnm en 391 540 E / 8 970 335 N (Figura 1).

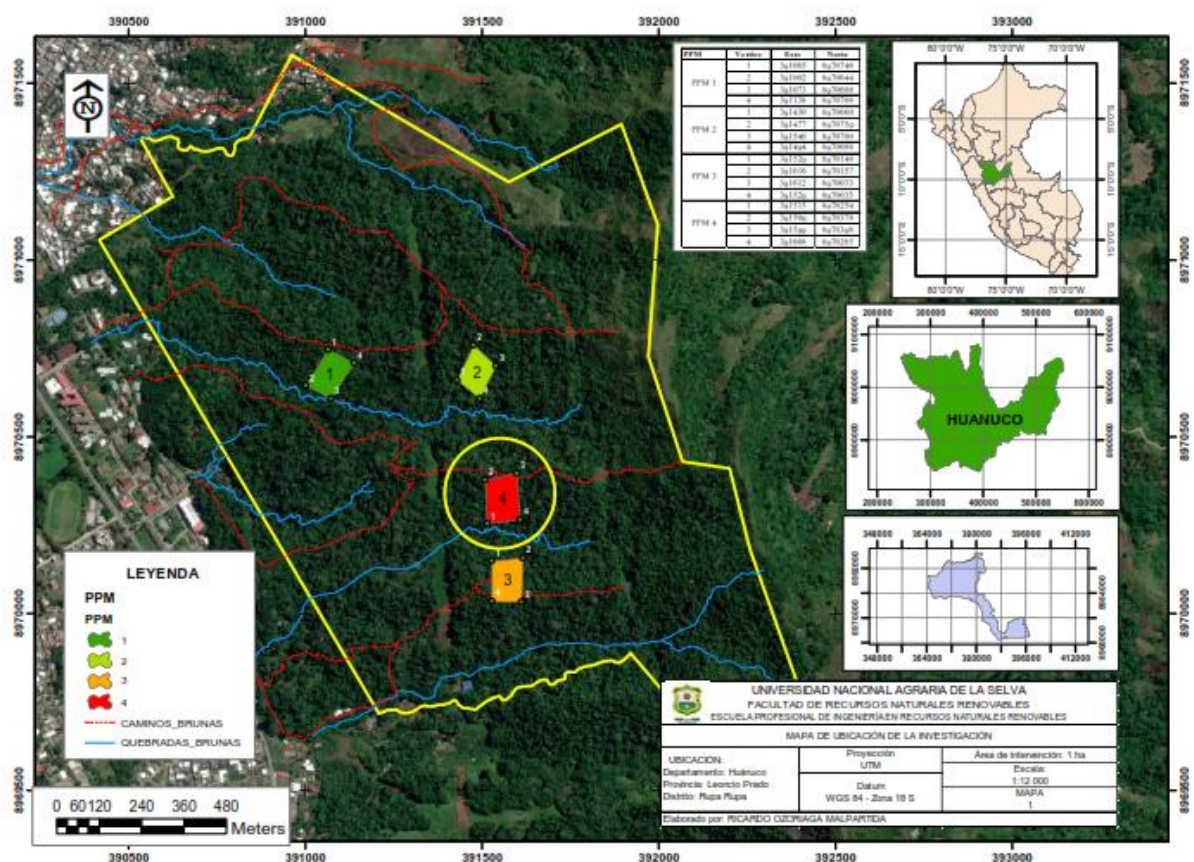


Figura 1. Mapa de localización de la PPM 4: delimitación espacial del área de estudio.

Jurisdiccionalmente, el sitio se ubica en el distrito de Rupa Rupa, provincia Leoncio Prado, departamento de Huánuco.

3.1.2. Zona de vida

Holdridge (1987) y Sgot (2014) clasifican al BRUNAS como un bosque tropical premontano muy húmedo (bmh-PT).

3.1.3. Clima

El informe de SENAMHI (2022) indica que el clima es hiperhúmedo, con una precipitación de 3 714 mm al año, alcanzando un pico de 675 mm en noviembre. Además,

la humedad relativa se sitúa en un 87 % y la temperatura varía entre 20,6 y 30,4 °C, con una media de 25,6 °C en el BRUNAS.

3.1.4. Fisiografía

Puerta (2007) identifica tres unidades fisiográficas en el BRUNAS que se encuentran entre 667 y 1 092 msnm: Colina Baja (22,9 ha), Colina Alta (150,7 ha) y el terreno accidentado de Cerro Cachimbo (43,6 ha, sin arbolado). Además, el 70 % de la superficie presenta pendientes superiores al 25 %, lo que da lugar a un paisaje mayormente escarpado.

3.1.5. Hidrografía

Según Dueñas (2009), existen seis quebradas —Córdova, Cocheros, Naranjal, Asunción Saldaña, Del Águila y Zoocriadero— que se originan en la cadena montañosa del BRUNAS y fluyen de este a oeste, desembocando en el Huallaga. Estas quebradas son una fuente de agua para la UNAS y las comunidades cercanas.

3.2. Material y métodos

3.2.1. Materiales y equipos

Para el desarrollo del estudio se utilizaron diversos materiales y equipos especializados, tanto en campo como en laboratorio, siguiendo metodologías estandarizadas para la evaluación de rasgos funcionales de las plantas (Cornelissen et al., 2003). Durante el trabajo de campo se emplearon instrumentos dendrométricos, como cintas diamétricas, distanciómetros láser y clinómetros, con el fin de medir variables dasométricas. Asimismo, para la colecta y conservación del material vegetal se utilizaron tijeras telescópicas, prensas botánicas, subidores y bolsas de polietileno. El registro y procesamiento de la información se apoyó en equipos de georreferenciación, como GPS y brújula, además de una cámara DSLR y una computadora portátil equipada con los programas PAST y QGIS. En laboratorio se trabajó con balanza analítica, espátulas, pinzas, escáner portátil, medidor electrónico de área foliar, estufa de secado, digestor de muestras, analizador elemental y un espectrómetro de masas (ICP-MS), equipos que permitieron evaluar las características fisicoquímicas y nutricionales de las muestras analizadas.

3.2.2. Metodología

3.2.2.1. Enfoque de investigación

El estudio se desarrolló bajo un enfoque hipotético-deductivo (Valderrama, 2013), orientado a evaluar de manera cuantitativa las relaciones existentes entre las variables analizadas.

3.2.2.2. Tipo de investigación

Corresponde a una de tipo aplicada, ya que integró conocimientos de dasometría, silvicultura y ecología con el propósito de cuantificar rasgos funcionales foliares y vegetativos relacionados con el almacenamiento de carbono en bosques de colina de Tingo María, Perú. A través de este enfoque, se buscó generar información útil que aporte tanto al conocimiento científico como al manejo y conservación de estos ecosistemas. (Quesada, 2020).

3.2.2.3. Nivel de investigación

La investigación tuvo un alcance correlacional, debido a que se analizaron las asociaciones entre los rasgos funcionales y los tipos funcionales de plantas (TFP). Durante el estudio no se manipularon variables ni se aplicaron tratamientos experimentales, sino que se evaluaron patrones naturales presentes en el ecosistema. (Sánchez, 1998).

3.2.2.4. Diseño de investigación

No experimental transversal, recolectando datos en un punto único de la parcela permanente sin manipulación ni control deliberado de variables, limitándose a observar fenómenos en su contexto natural para luego analizar sus asociaciones (Hernández et al., 2004).

3.2.2.5. Población

El estudio abarcó a todos los individuos con un diámetro a la altura del pecho (DAP) de 10 cm o más en la parcela permanente de monitoreo N° 4, que corresponde a una hectárea de bosque tropical de colina alta. Esta población se alinea con el marco conceptual de Jany (1994, citado en Bernal, 2010), que la describe como el conjunto completo de compuestos con características comunes que están bajo investigación para hacer inferencias.

3.2.2.6. Muestra

Se seleccionaron las 10 especies arbóreas de mayor índice de valor de importancia (IVI) como representativas ecológicamente. El muestro fue no probabilístico, pero se evaluaron cinco individuos por especie. Este enfoque se justifica conceptualmente con la definición de Bernal (2010), quien establece que la muestra es un subconjunto de la población que se elige para obtener la información y llevar a cabo las mediciones de las variables objeto de estudio.

3.2.2.7. Variables de estudio

Variable independiente

- 10 especies de arbóreas de la PPM 4

Variable dependiente

- Contenido de Carbono (C), Nitrógeno (N) y Fosforo (P) mostrado en porcentaje (%).
- Estas variables de C, N y P serán obtenidas mediante el análisis elemental químico que se obtendrá los resultados en el laboratorio.
- Área foliar: Estará representado en (mm²)
- Área foliar específica: Estará representado en (mm²/g)

3.2.2.8. Selección y recolección del material vegetal

A partir del IVI se priorizaron las especies más abundantes de la PPM 4; de cada ejemplar se recolectaron hojas maduras, completas y libres de daños.

- N° de especies: 10
- N° de individuos por especie: 5
- N° de Árboles total a evaluar: 50

Para el análisis del índice de valor de importancia, se aplicó la fórmula de Curtis y McIntosh (1951), Pool et al. (1977), Cox (1981), Cintrón y Schaeffer (1983) y Corella et al. (2001):

$$IVI = Dominancia\ relativa + Densidad\ Relativa + Frecuencia\ Relativa$$

La Dr, Ar y Fr según: Acosta et al. (2006):

$$Dr = \left(\frac{g^i}{G} \right) * 100$$

$$Ar = \frac{ni}{\frac{N}{ha}}$$

$$Fr = Fai / \sum_{i=1}^n Fa$$

Dónde:

Dr = Dominancia relativa (%)

g = Área basal de i

G = Área basal total por ha

Ar = Densidad o abundancia relativa (%)

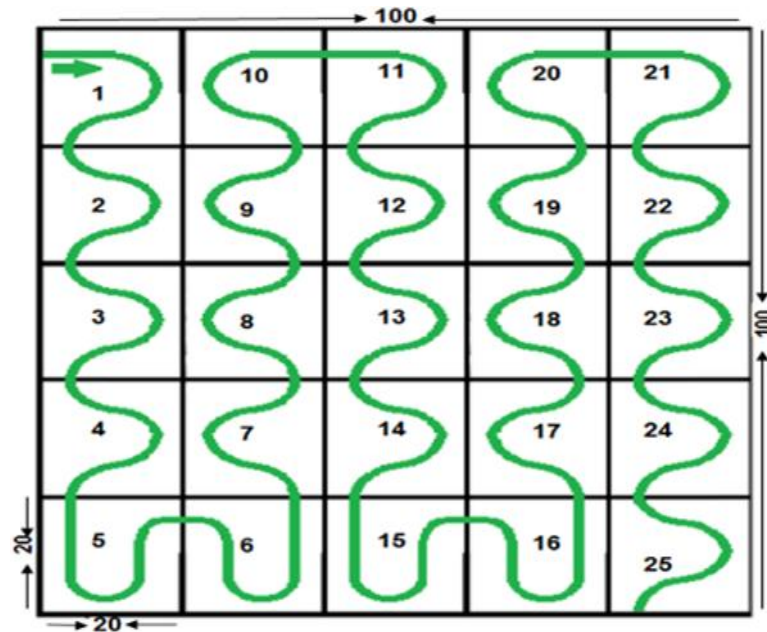
ni = Número de árboles por ha

N/ha = Número total de árboles por ha

Fa y Fr= Frecuencia absoluta (Fa) y relativa (Fr %)

Tabla 1. Lista de especies de mayor densidad de vegetación Arborea de la PPM 4.

N°	Especie	PPM N° 4 (bosques colina alta)	
		Abund.	% Abund.
1	<i>Senefeldera inclinata</i>	154	27,9
2	<i>Pourouma minor</i>	24	4,3
3	<i>Otoba parvifolia</i>	16	2,9
4	<i>Cecropia sciadophylla</i>	15	2,7
5	<i>Schizocalyx peruvianus</i>	15	2,7
6	<i>Dacryodes nitens</i>	12	2,2
7	<i>Tapirira guianensis</i>	12	2,2
8	<i>Hevea guianensis</i>	11	2,0
9	<i>Psychotria levis</i>	11	2,0
10	<i>Theobroma subincanum</i>	11	2,0
TOTAL			50,9

**Figura 2.** Disposición y modo de desplazamiento de una parcela permanente.

3.2.2.9. Rasgos funcionales foliares: área foliar específica (AFE), concentración de nitrógeno en hoja (CNF), concentración de carbono foliar (CCF), fósforo foliar (CPF) y contenido foliar de materia seca (CFMS)

Se cuantificaron cuatro rasgos funcionales foliares y tres vegetativos clave para el secuestro de carbono (Polania et al. 2011). Los foliares fueron: área foliar (AF, cm²), área foliar específica (SLA, cm² mg⁻¹) y contenido de materia seca (LMF, mg g⁻¹). Se recolectaron diez hojas jóvenes, completamente expandidas y sin daños (Pérez et al. 2013). La SLA se determinó en el laboratorio de Semillas de la Escuela de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, midiendo área (cm²), longitud y ancho de cada lámina.

La estequiometría foliar (C, N, P) se cuantificó en las 10 especies top-IVI de la PPM 4 siguiendo dos fases: (i) campo –muestreo de hojas con tijera telescópica y subidor– y (ii) laboratorio –digestión y análisis elemental en el Laboratorio de Fitoquímica de la Escuela de Ingeniería Forestal-FRNR.

3.2.2.10. Rasgos funcionales vegetativos: diámetro altura del pecho (DAP), área basal (AB), diámetro de la copa (DC), altura total (HT) y densidad de madera (DM)

Se cuantificaron seis rasgos vegetativos en las 10 especies top-IVI: DAP, área basal (G), diámetro de copa (DC), altura total (HT), densidad de madera (DM, extraída de GlobalWoodDensity 2014) y biomasa/carbono aéreo (AGB, AGBest, CBt). El DC se estimó como la media geométrica de dos proyección perpendiculares Norte-Sur y Este-Oeste medidas con cinta métrica bajo la proyección horizontal de la copa:

$$DC = (d1 + d2) / 2 \quad (1)$$

Dónde:

d1 = diámetro mayor de copa

d2 = diámetro menor de copa

La altura total (HT) se obtuvo con clinómetro y cinta métrica fijando la distancia observador-árbol (15–20 m) y aplicando la ecuación de Diéguez et al. (2023).

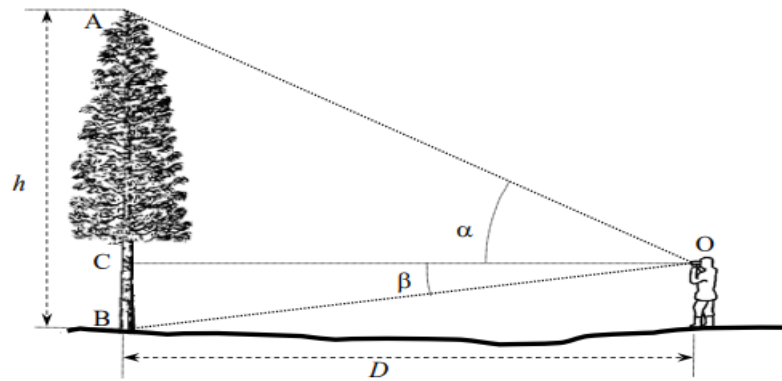


Figura 3. Método de medición de altura de árboles.

Se registraron los ángulos de elevación al ápice (α) y de depresión a la base (β) respecto a la horizontal para despejar la altura total según la ecuación de Diéguez et al. (2023).

$$\frac{AC}{OC} = \operatorname{tg} \alpha \Rightarrow CB = OC \cdot \operatorname{tg} \alpha = D \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

$$\frac{AC}{OC} = \operatorname{tg} \beta \Rightarrow CB = OC \cdot \operatorname{tg} \beta = D \cdot \operatorname{tg} \beta$$

$$h = AC + BC = D \cdot (\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta) \quad (2)$$

La biomasa aérea individual (AGB) se estimó mediante la ecuación alométrica de Chave et al. (2014).

$$AGB = \sum_{i=1}^n [(Exp(-2,557 + 0,940 * \ln(\rho_i D_i^2 H_i)))] \quad (3)$$

Dónde:

$(AGB)_{est}$ = Biomasa área (kg/ha)

D_i = Diámetro del árbol – DAP (cm)

ρ_i = Densidad de la madera (g/cm³)

H_i = Altura total del árbol (m)

n = Número de árboles en la UM $\geq$ a 10 cm DAP

Para la biomasa total:

$$AGB = \sum (AGB_{est} / \text{Área}) \quad (4)$$

Dónde:

AGB_{est} = Biomasa arbórea sobre el suelo

Área = Tamaño de la parcela en hectárea.

Análisis de contenido de carbono:

$$CB_t = B_t \cdot FC \quad (5)$$

Dónde:

CBt = Contenido de carbono arbóreo almacenado (t/ha). Brown & Lugo (1992).

FC = Factor de carbono en biomasa (0,5)

3.2.2.11. Correlacionar y comparar el tipo de rasgo funcional de la planta (TFP)

Para evaluar la relación entre los rasgos funcionales foliares y vegetativos, y clasificar las especies en Tipos Funcionales de Plantas (TFP), se siguieron los siguientes pasos:

- a) Selección de rasgos funcionales clave: Se consideraron los siguientes rasgos medidos en las 10 especies con mayor IVI:
 - Foliares: Área Foliar Específica (AFE), Contenido de Materia Seca Foliar (CMSF), Contenido Foliar de Nitrógeno (CFN) y Fósforo (CFP).
 - Vegetativos: Densidad Básica de la Madera (DBM), Área de Copa (AC), Forma de Copa (FC), Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) y Altura Total (HT).
- b) Análisis de agrupamiento funcional:
 - Se aplicó un Análisis de Componentes Principales (ACP) para reducir la dimensionalidad de los datos y visualizar la distribución de las especies en un espacio funcional multivariado.
 - Con base en la posición de las especies en los dos primeros componentes principales (CP1 y CP2), se identificaron grupos funcionales mediante el algoritmo de agrupamiento k-means, validado con el método de la silueta.
- c) Clasificación de estrategias funcionales:
 - Se utilizó el umbral de Densidad Básica de la Madera ($DBM = 0,54 \text{ g/cm}^3$) propuesto por Cardoza (2011) para clasificar las especies en:
 - Estrategia adquisitiva: $DBM < 0,54 \text{ g/cm}^3$.
 - Estrategia conservadora: $DBM \geq 0,54 \text{ g/cm}^3$.

- La clasificación se validó con los valores de AFE, CMSF y DBM para asegurar la coherencia de las estrategias en el espectro económico foliar.
- d) Matriz de correlación:
 - Se calculó una matriz de correlación de Pearson entre todos los rasgos funcionales cuantitativos para identificar relaciones significativas ($p < 0,05$) y cuantificar el grado de asociación entre rasgos foliares y vegetativos.
- e) Comparación entre TFP:
 - se realizaron pruebas de Kruskal-Wallis o ANOVA de una vía para comparar las medianas o promedios de cada rasgo entre los TFP identificados.
 - Se utilizó el test post-hoc de Dunn o Tukey para identificar diferencias significativas entre grupos.

3.2.3. Análisis estadístico

El análisis de datos se realizó con el software PAST (v4.16c). Inicialmente, se aplicó estadística descriptiva para resumir los rasgos funcionales. Previo a los análisis inferenciales, se verificó la normalidad (Shapiro-Wilk) y homocedasticidad (Levene) de los datos. Debido a que varias variables no cumplieron los supuestos estadísticos requeridos, se optó principalmente por el uso de métodos no paramétricos. Para reconocer la estructura funcional de la comunidad se aplicó un Análisis de Componentes Principales (ACP) a partir de datos estandarizados, considerando únicamente los componentes con autovalores mayores a 1, según el criterio de Kaiser. Las relaciones entre los distintos rasgos funcionales se evaluaron mediante una matriz de correlación de Pearson con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$. Las diferencias en los rasgos entre los Tipos Funcionales de Plantas (TFP) se analizaron usando la prueba de Kruskal-Wallis. Luego, se aplicó la prueba post-hoc de Dunn con corrección de Bonferroni para identificar qué grupos presentaban diferencias significativas entre sí.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Rasgos funcionales foliares: área foliar específica (AFE), concentración de nitrógeno en hoja (CNF), concentración de carbono foliar (CCF), fósforo foliar (CPF) y contenido foliar de materia seca (CMSF)

Las diez especies dominantes mostraron gran variabilidad en sus rasgos foliares. *P. levis* exhibió la mayor Área Foliar Específica (AFE = 105,55 mm²/g), indicando una alta capacidad de captación y uso rápido de recursos, mientras que *P. minor* presentó la menor (31,10 mm²/g), asociada a estrategias de crecimiento más conservadoras. La concentración de nitrógeno foliar (CNF) varió de 1,51 a 3,42 %, con *H. guianensis* destacando por su alto contenido, sugiriendo mayor actividad fotosintética. El contenido foliar de materia seca (CMSF) también difirió, reflejando distintas inversiones en tejidos estructurales y defensa. *P. levis* tuvo el CMSF más bajo (0,22), indicando hojas más delgadas y menos resistentes. En conjunto, estos resultados coinciden con el espectro económico foliar descrito en la literatura, donde las especies con alta AFE y bajo CMSF suelen presentar un crecimiento más rápido, aunque con menor duración de las hojas (Wright et al., 2004; Reich, 2014; Díaz et al., 2016) (Tabla 2).

Tabla 2. Rasgos funcionales foliares de las 10 especies seleccionadas en la PPM 4.

Especie	AFE (mm ² /g)	CNF (%)	CCF (%)	CPF (%)	CMSF
<i>Senefeldera inclinata</i>	46,44	2,58	20,14	0,21	0,54
<i>Pourouma minor</i>	31,10	2,13	18,54	0,05	0,51
<i>Otoba parvifolia</i>	45,71	1,51	27,41	0,12	0,55
<i>Cecropia sciadophylla</i>	61,19	2,24	24,23	0,17	0,68
<i>Schizocalyx peruvianus</i>	84,55	2,35	17,33	0,14	0,35
<i>Dacryodes nitens</i>	62,53	2,18	15,95	0,32	0,31
<i>Tapirira guianensis</i>	96,69	2,02	24,87	0,16	0,41
<i>Hevea guianensis</i>	68,61	3,42	21,60	0,23	0,64
<i>Psychotria levis</i>	105,55	2,86	15,23	0,25	0,22
<i>Theobroma subincanum</i>	75,14	1,74	18,98	0,16	0,46

* CMSF es adimensional (peso seco/peso fresco)

4.2. Rasgos funcionales vegetativos: diámetro altura del pecho (DAP), área basal (AB), diámetro de la copa (DC), altura total (HT) y densidad de madera (DM)

Las especies *P. minor* y *H. guianensis* presentan los mayores valores de diámetro a la altura del pecho (DAP), área basal (AB) y biomasa aérea estimada (AGB), lo que indica una alta capacidad de almacenamiento de carbono (Chave et al., 2014; Montes, 2014; Daviran, 2024). En contraste, *S. peruvianus* y *P. levis* muestran valores bajos en estos parámetros, lo que sugiere una contribución menor a la biomasa total. La densidad de madera (DM) varía entre

0,30 y 0,65 g/cm³, con *S. inclinata* presentando el valor más alto, lo que implica una estrategia conservadora y mayor resistencia mecánica (Chave et al., 2009; Aguirre et al., 2019; Zelada y Reynel, 2019). Además, la altura total (HT) y el diámetro de copa (DC) están positivamente correlacionados con la biomasa, lo cual es clave para la estimación de carbono almacenado (Brown & Lugo, 1992; Salgado, 2015; Finegan et al., 2015). Estos resultados refuerzan la idea de que la diversidad de rasgos vegetativos influye directamente en la capacidad del ecosistema para secuestrar carbono (Lavorel et al., 2013; Díaz et al., 2016; Aponte, 2025) (Tabla 3).

Tabla 3. Rasgos funcionales vegetativos de las 10 especies seleccionadas.

Especie	DAP (cm)	AB (m ²)	DC (m)	HT (m)	DM (g/cm ³)	AGB (kg/ha)	CBt (t/ha)	Estrategia
<i>Senefeldera inclinata</i>	20,30	0,03	14,06	21,76	0,65	12091,36	6045,68	Conservativas
<i>Pourouma minor</i>	37,29	0,12	14,22	26,71	0,48	48389,38	24194,69	Adaptativa
<i>Otoba parvifolia</i>	25,24	0,08	10,77	22,88	0,53	33916,64	16958,32	Adaptativa
<i>Cecropia sciadophylla</i>	26,76	0,06	12,75	24,98	0,34	25407,70	12703,85	Adaptativa
<i>Schizocalyx peruvianus</i>	15,49	0,02	9,15	14,12	0,48	5408,79	2704,40	Adaptativa
<i>Dacryodes nitens</i>	36,61	0,15	13,63	22,80	0,53	53871,12	26935,56	Adaptativa
<i>Tapirira guianensis</i>	29,07	0,08	15,36	23,11	0,51	24279,91	12139,95	Adaptativa
<i>Hevea guianensis</i>	37,99	0,14	17,98	23,69	0,51	52303,82	26151,91	Adaptativa
<i>Psychotria levis</i>	19,94	0,03	11,55	18,06	0,30	7978,20	3989,10	Adaptativa
<i>Theobroma subincanum</i>	20,44	0,04	10,52	15,15	0,42	10080,45	5040,22	Adaptativa

4.3. Correlacionar y comparar el tipo de rasgo funcional de la planta (TFP)

El Análisis de Componentes Principales (ACP) respalda hallazgos anteriores y clasifica las especies según su espectro económico de foliar-madera (Wright et al., 2004; Díaz et al., 2016). Agrupa las especies adquisitivas (con alta AFE y baja DBM) y las conservadoras (con baja AFE y alta DBM) en extremos opuestos, como es el caso de *C. sciadophylla* y *S. inclinata*. Esto valida estudios locales (Aguirre et al., 2019; Minaya, 2023; Domínguez, 2024) y demuestra que la combinación de rasgos foliares y vegetativos establece estrategias ecológicas coherentes (Chave et al., 2009; Aponte, 2025). Este aspecto es fundamental para la selección de especies en proyectos de restauración ecológica (Lavorel et al., 2013; Finegan et al., 2015; Salgado, 2015) (Figura 4).

La figura muestra que *S. peruvianus* y *P. levis* se sitúan en un punto intermedio en el gradiente funcional del CP1, lo que sugiere estrategias ecológicas menos extremas y una transición gradual entre tipos funcionales en bosques tropicales. Esto concuerda con estudios previos que indican que estos ecosistemas presentan un continuo de estrategias funcionales para el uso y conservación de recursos (Díaz et al., 2016; Finegan et al., 2015). La presencia de especies con rasgos intermedios es clave para la estabilidad y resiliencia del bosque ante

cambios ambientales (Salgado, 2015; Lavorel et al., 2013). Así, los resultados apoyan la idea de que la diversidad funcional se manifiesta en gradientes continuos, permitiendo una mejor ocupación de nichos y un uso más eficiente de los recursos (Reich, 2014; Aguirre et al., 2019; Wright et al., 2004; Chave et al., 2009; Daviran, 2024).

En el plano CP1-CP2, se observó una relación inversa entre el Área Foliar Específica (AFE) y la densidad básica de la madera (DBM). Este hallazgo, obtenido por Análisis de Componentes Principales (ACP), concuerda con lo propuesto por Chave et al. (2009) y Wright et al. (2004) sobre el equilibrio entre el rápido aprovechamiento de recursos y la resistencia de los tejidos. Estudios en gradientes altitudinales (Zelada y Reynel, 2019) reportan resultados parecidos, atribuyendo estas inversiones en tejidos foliares y leñosos a mecanismos fisiológicos de distribución y uso de carbono. Así, la DBM no es un rasgo aislado, sino parte de una estrategia funcional integrada, como documentó Daviran (2024) en bosques premontanos de la misma región.

La influencia de la altura total (HT) y el diámetro de copa (DC) sobre el CP2 fue consistente con previas evaluaciones, diferenciando especies de mayor porte y copas más amplias (ej., *Pourouma minor*) de las más pequeñas. Estos hallazgos concuerdan con reportes de Montes (2014), Minaya (2023) y Domínguez (2024) que destacan la importancia de la arquitectura arbórea en la captación de luz y la productividad forestal. La estratificación vertical resultante es un mecanismo clave, según Lavorel et al. (2013) y Aponte (2025), para optimizar el uso de recursos y el almacenamiento de carbono. Así, la Figura 4 no solo respalda el marco conceptual existente, sino que también provee evidencia concreta para seleccionar especies en proyectos de restauración ecológica enfocados en el secuestro de carbono. El ACP, por tanto, organiza especies y ofrece una base cuantitativa para elegir combinaciones óptimas de altura, copa y densidad de madera que maximicen el secuestro de carbono en plantaciones de restauración (Finegan et al., 2015; Aguirre, 2025; Zelada y Reynel, 2019).

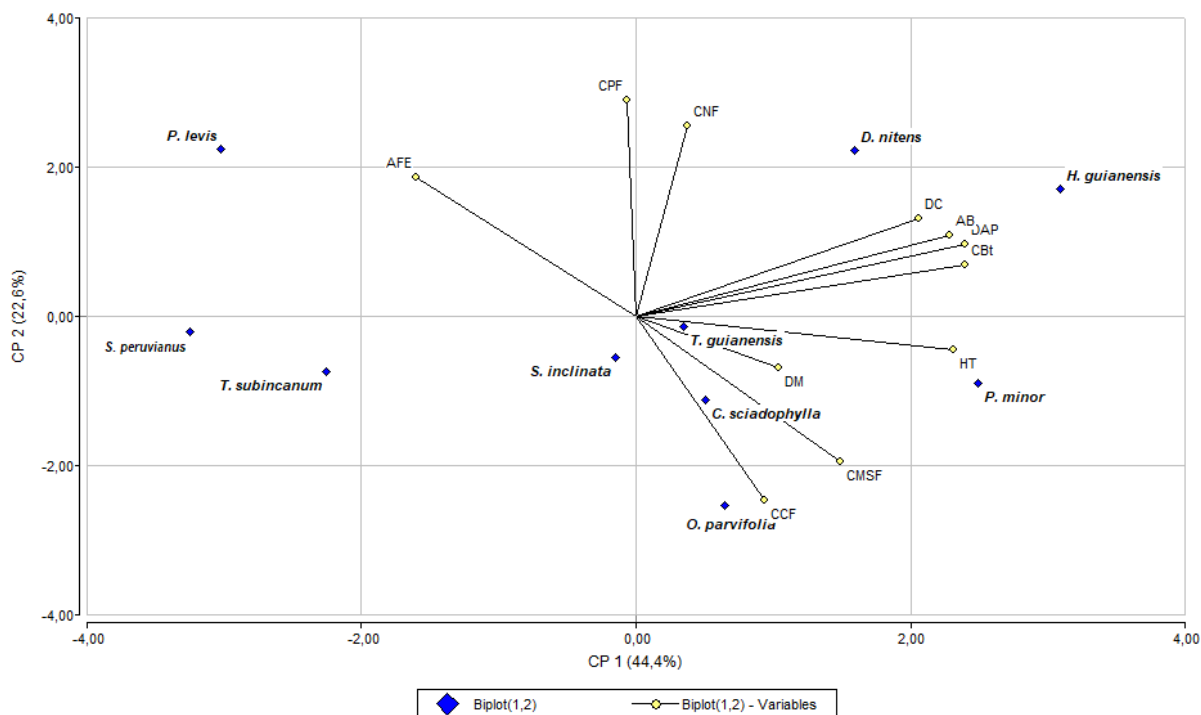


Figura 4. ACP de los rasgos funcionales foliares y vegetativos.

Se clasificó las diez especies según su estrategia funcional con base DBM, utilizando el umbral de 0,54 g/cm³ propuesto por Cardoza (2011). Se observa que *C. sciadophylla*, *P. levis* y *T. subincanum* presentan una estrategia adquisitiva (DBM < 0,54), mientras que *S. inclinata*, *O. parvifolia* y *D. nitens* se clasifican como conservadoras (DBM ≥ 0,54), lo cual es coherente con estudios previos (Aguirre et al., 2019; Minaya, 2023; Domínguez, 2024). Esta clasificación es clave para comprender la respuesta de las especies a los gradientes ambientales y su papel en el almacenamiento de carbono (Wright et al., 2004; Chave et al., 2009; Díaz et al., 2016). Asimismo, la distribución de estrategias funcionales en la comunidad arbórea indica que el bosque de colina posee un espectro económico definido, fundamental para la selección de especies en proyectos de restauración ecológica (Lavorel et al., 2013; Finegan et al., 2015; Salgado, 2015) (Figura 5).

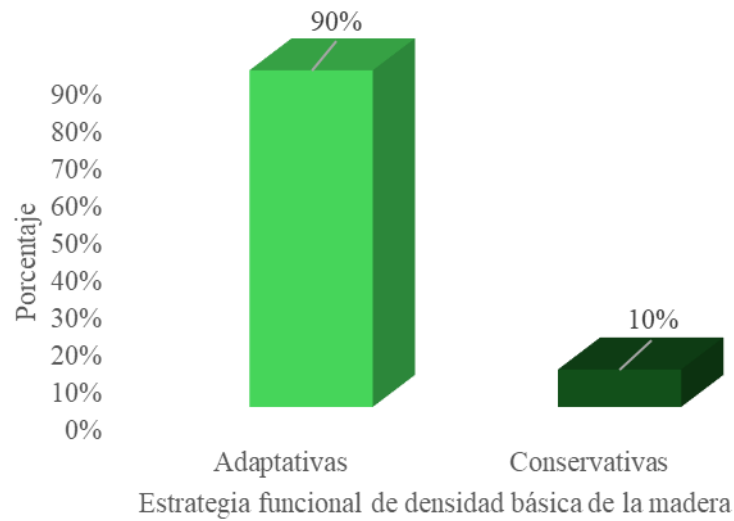


Figura 5. Estrategia funcional de las especies seleccionadas.

La relación entre AFE, CMSF, DBM y EF indicó una asociación inversa entre AFE y DBM, sugiriendo un equilibrio funcional entre especies de desarrollo rápido y aquellas que invierten más en tejidos densos y resistentes (Wright et al., 2004; Reich, 2014; Díaz et al., 2016). De igual manera, las especies con valores elevados de AFE tendieron a presentar bajos valores de CMSF, propiedades vinculadas con hojas más delgadas y una menor inversión en estructuras de protección y soporte (Poorter y Villar, 1997; Taiz y Zeiger, 2006; De La Riva et al., 2014). Esta autocorrelación es clave para entender cómo los rasgos funcionales están coordinados a lo largo del espectro económico foliar-madera, lo cual tiene implicancias directas en la capacidad de secuestro de carbono (Chave et al., 2009; Lavorel et al., 2013; Finegan et al., 2015). Estos resultados coinciden con investigaciones anteriores que señalan que la interacción entre los rasgos foliares y vegetativos influye directamente en la estrategia ecológica adoptada por las especies (Aguirre et al., 2019; Daviran, 2024; Aponte, 2025) (Figura 6).

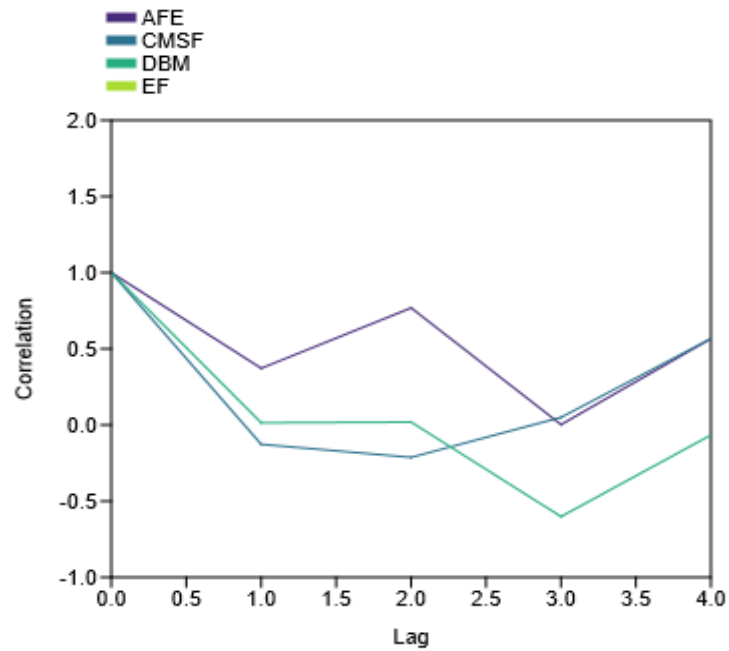


Figura 6. Autocorrelación de complemento de AFE, CMSF, DBM y EF.

El test de Kruskal-Wallis confirman que existen diferencias significativas entre los grupos funcionales (adquisitivos vs. conservadores) en rasgos clave como AFE, CNF, DBM y CBT, lo cual respalda la hipótesis de que la diversidad funcional influye en la retención de carbono (Lavorel et al., 2013; Finegan et al., 2015; Salgado, 2015). Especies conservadoras presentan mayor DBM y menor AFE, lo que implica una mayor inversión en tejidos densos y longevos, contribuyendo así a la estabilidad del carbono almacenado (Chave et al., 2009; Aguirre et al., 2019; Daviran, 2024). En contraste, las especies adquisitivas muestran mayor AFE y CNF, lo que se traduce en una mayor tasa de crecimiento y productividad, pero menor retención de carbono a largo plazo (Wright et al., 2004; Reich, 2014; Díaz et al., 2016). Estos resultados son clave para seleccionar especies en programas de restauración ecológica que busquen maximizar el secuestro de carbono (Aponte, 2025; Aguirre, 2025; Minaya, 2023) (Figura 7).

Kruskal-Wallis test for equal medians

$H(ch^2)$:	105.2
H_c (tie corrected):	105.2
p (same):	4.903E-18

There is a significant difference between sample medians

Figura 7. Prueba de Kruskal-Wallis para medianas iguales.

Las diferencias observadas entre los distintos pares de rasgos funcionales evidencian la presencia de compensaciones entre las características foliares y vegetativas de las especies (Wright et al., 2004; Reich, 2014; Díaz et al., 2016). En particular, el Área Foliar Específica (AFE) mostró diferencias significativas respecto a la CNF, CPF, CMSF, DC y DM. Del mismo modo, el contenido de carbono foliar (CCF) presentó diferencias frente al CMSF, DM y CBt, lo que indica que las especies con tejidos foliares más densos podrían aportar en mayor medida al almacenamiento de carbono (Conti y Díaz, 2013; Finegan et al., 2015; Aguirre, 2025). Por otro lado, la densidad básica de la madera (DBM) se diferenció significativamente de variables como el DAP, AB, HT y CBt, resaltando su relevancia como indicador de la estrategia ecológica y del potencial de almacenamiento de carbono de las especies (Chave et al., 2009; Aguirre et al., 2019; Daviran, 2024). Conjuntamente estos resultados coinciden con estudios previos que señalan que la interacción entre rasgos foliares y vegetativos define la funcionalidad ecológica de las especies (Lavorel et al., 2013; Salgado-Negret, 2015; Aponte, 2025) (Tabla 4).

La prueba de Dunn indicó que el Área Foliar Específica (AFE) difiere significativamente del Contenido de Fósforo Foliar (CPF) y del Contenido de Materia Seca Foliar (CMSF) ($p < 0,01$). Las especies con mayor AFE invierten menos en defensa y fósforo, dando prioridad a rápido desarrollo y una mayor eficiencia en el uso de recursos (Wright et al., 2004; Reich, 2014; Poorter y Villar, 1997), concordando con el espectro económico foliar donde las especies adquisitivas favorecen la fotosíntesis sobre la resistencia de los tejidos (Díaz et al., 2016; Conti y Díaz, 2013; Finegan et al., 2015). No obstante, el CMSF y la Densidad Básica de la Madera (DBM) no mostraron diferencias significativas ($p > 0,05$), sugiriendo que la DBM es un buen indicador de la inversión de la planta en tejidos duraderos (hojas y madera). Esto permite relacionar atributos foliares con propiedades estructurales del árbol completo sin métodos destructivos adicionales (Chave et al., 2009; Aguirre et al., 2019; Daviran, 2024).

Por otro lado, la comparación entre la CNF y el CBt presentó diferencias significativas ($p < 0,05$), evidenciando que el contenido de nitrógeno foliar no se relaciona directamente con la cantidad de carbono almacenado por cada individuo. En realidad, el almacenamiento de biomasa depende en mayor medida de características como la densidad de la madera y el tamaño del árbol, más que de la calidad nutricional de las hojas (Lavorel et al., 2013; Salgado-Negret, 2015; Montes, 2014). Estos resultados sugieren que los programas de restauración orientados al almacenamiento de carbono deberían considerar especies que combinen una densidad de madera moderada o alta con diámetros importantes, ya que ello favorecería una mayor acumulación de carbono leñoso (Brown & Lugo, 1992; Chave et al.,

2014; Aponte, 2025). La disparidad significativa entre el área basal (AB) y el AFE ($p < 0,001$) sugiere que el desarrollo del tronco no se relaciona directamente con una estrategia foliar de hojas más "económicas" o ligeras. Esto subraya la necesidad de un estudio conjunto de múltiples rasgos funcionales, que incluye la economía foliar y la arquitectura leñosa, para comprender mejor el secuestro y retención de carbono en los bosques (Finegan et al., 2015; Minaya, 2023; Aguirre, 2025).

Tabla 4. Test de Dunn's post-hoc.

	AFE	CNF	CCF	CPF	CMSF	DAP	AB	DC	HT	DM	CBt
AFE		0,0005	0,1024	0,00002	0,00520	0,2962	5,04E-07	0,0067	0,130	0,0054	0,4703
CNF	0,0005		0,0642	0,03251	0,28350	0,0147	0,0063	0,4406	0,049	0,2866	0,0260
CCF	0,1024	0,0642		0,06641	0,00346	0,5560	0,0045	0,2803	0,905	0,0035	0,0185
CPF	0,00002	0,0325	0,0664		0,28660	0,0047	0,5513	0,0036	0,040	0,2835	0,0000
CMSF	0,0052	0,2835	0,0035	0,28660		0,0004	0,0966	0,0652	0,002	0,9944	0,0001
DAP	0,2962	0,0147	0,5560	0,00470	0,00044		0,0002	0,0952	0,639	0,0005	0,0773
AB	5,04E-07	0,0063	0,0045	0,55130	0,09663	0,0002		0,0005	0,003	0,0952	3,92E-09
DC	0,0067	0,4406	0,2803	0,00362	0,06523	0,0952	0,0005		0,231	0,0663	0,0006
HT	0,1300	0,0489	0,9051	0,03992	0,00235	0,6386	0,0026	0,2306		0,0024	0,0253
DM	0,0054	0,2866	0,0035	0,28350	0,99440	0,0005	0,0952	0,0663	0,002		0,0001
CBt	0,4703	0,0260	0,0185	0,0000002	0,00013	0,0773	3,92E-09	0,0006	0,025	0,0001	

Se encontró una relación inversa significativa entre el Área Foliar Específica (AFE) y la densidad de biomasa de materia seca (DBM) ($r \approx -0,54$; $p < 0,01$), diferenciando especies de crecimiento rápido de aquellas con tejidos más densos. La concentración de carbono foliar (CCF) se correlacionó positivamente con el carbono total de biomasa (CBt), indicando que especies con alto carbono foliar contribuyen más a la retención de carbono del ecosistema. De manera similar, el nitrógeno foliar (CNF) se asoció positivamente con el AFE, sugiriendo que especies con mayor actividad fotosintética tienen hojas más grandes y delgadas. Estas relaciones concuerdan con el espectro económico foliar-madera y resaltan la influencia de los rasgos funcionales en su secuestro y retención de carbono en bosques.

Se encontró una correlación positiva significativa ($r \approx 0,62$; $p < 0,01$) entre el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura total (HT) de los árboles. Esto indica que los árboles más altos tienden a tener diámetros mayores, lo que resulta en una mayor acumulación de biomasa y carbono. Este patrón es evidente en especies como *P. minor* y *H. guianensis*, conocidas por su gran tamaño y maderas de densidad intermedia, lo que les permite una eficiente captación de recursos y carbono (Finegan et al., 2015; Salgado, 2015; Aponte, 2025).

El contenido de fósforo foliar (CPF) se correlacionó negativamente con el área foliar específica (AFE) ($r \approx -0,45$; $p < 0,05$), lo que sugiere que las especies de crecimiento

rápido con hojas delgadas acumulan menos fósforo. En comunidades con especies "adquisitivas", esto podría reducir el retorno de fósforo al suelo a través de la hojarasca, afectando el ciclo de nutrientes y aumentando las pérdidas por lixiviación en suelos pobres. Para la restauración, se recomienda seleccionar especies que equilibren el crecimiento rápido con un alto contenido de fósforo foliar y materia seca, mejorando así la retención de nutrientes y la estabilidad del carbono del suelo a largo plazo (Finegan et al., 2015; Aguirre, 2025; Minaya, 2023).

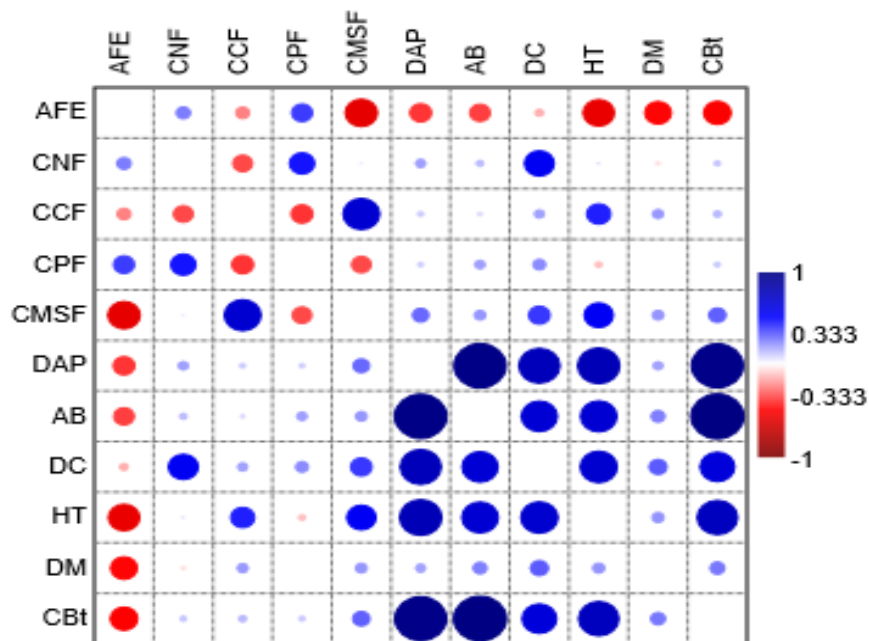


Figura 8. Correlación de rasgos funcionales foliares y vegetativos.

V. CONCLUSIONES

1. El estudio permitió reconocer un gradiente en el uso de las hojas que separa a las especies con una estrategia de aprovechamiento rápido de recursos de aquellas que funcionan de manera más conservadora, evidenciando la variedad de formas en que las plantas utilizan el follaje en el bosque de colina.
2. Se observó que la forma y estructura de los árboles, así como las características de su madera, influyen directamente en la cantidad de biomasa que acumulan y en su aporte al almacenamiento de carbono del ecosistema.
3. A partir de la combinación de rasgos foliares y vegetativos, fue posible agrupar las especies en Tipos Funcionales de Plantas, complementados con el Índice de Valor de Importancia. En conjunto, estas herramientas ayudan a entender mejor el funcionamiento del bosque y aportan información valiosa para orientar su restauración y manejo sostenible.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Incorporar drones LiDAR de bajo costo con sistemas de inteligencia artificial integrada para mapear variables como la DBM y el AFE en tiempo real, permitiendo ampliar la estimación de carbono a toda la cuenca del Huallaga sin necesidad de realizar tala de árboles.
2. Utilizar sensores portátiles NIRS conectados a teléfonos inteligentes para medir en campo el contenido foliar de carbono, nitrógeno y fósforo, y así alimentar modelos de aprendizaje automático orientados a mejorar la precisión en la predicción de carbono.
3. Desarrollar una plataforma web-GIS de acceso abierto que integre imágenes Sentinel-2, modelos alométricos tridimensionales y la información generada en esta investigación, con el fin de agilizar la evaluación y certificación del carbono almacenado en ecosistemas forestales.

VII. REFERENCIAS

- Ackerly, D. D., & Cornwell, W. K. (2007). A trait-based approach to community assembly: Partitioning of species trait values into within- and among-community components. *Ecology Letters*, 10(2), 135-145. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.01006.x>
- Acosta, V. H., Araujo, P. A., Iturre, M. C. (2006). Caracteres estructurales de las masas. Universidad Nacional de Santiago del Estero. <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/seriesdidacticas/SD-22-Caracteres-estructurales-ACOSTA.pdf>.
- Aguirre, C., Santillán, E., & Díaz E. (2019). Rasgos funcionales de los árboles de bosque de montaña favorecen la estrategia de conservación de las especies a los riesgos ambientales, Tingo María-Perú. *Revista Boletín Redipe*, 8(7), 99-112.
- Aguirre, M. (2025). *Caracteres funcionales foliares y composición química orgánica de tres especies arbóreas de un bosque de selva alta de Tingo María, Huánuco, Perú*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/3168>
- Álvarez, Y., Álvarez, E., Cano, J., & Suescún, D. (2012). Modelos matemático para estimar área foliar en árboles del bosque tropical seco en el Caribe colombiano. *Revista del instituto de investigaciones Tropicales*.
- Aponte, O. (2025). *Rasgos funcionales vegetativos, foliares y regenerativos de la vegetación arbórea del bosque secundario de Tulumayo, Pueblo Nuevo, Huánuco, Perú*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional.
- Aquino, S. (2010). *Impactos humanos en la provisión de servicios ecosistémicos por bosques tropicales muy húmedos: un enfoque de ecología funcional*.
- Arrieche, D. & M. E. Sanabria. (1995). Ultraestructura de la epidermis foliar de cinco especies de Heliconia. *Bioagro*.
- Ascencio, J. (1985). *Distribución del N, P, K, Ca y Mg en la sucesión foliar base-ápice y desarrollo de las plantas en la determinación del estado nutricional de la caraota (Phaseolus vulgaris L.) cultivada en soluciones nutritivas*. Trabajo de ascenso. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Maracay.
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación: Administración, economía, humanidades y ciencias sociales* (3.ª ed.): Pearson Educación.

- Bocanegra, K., Fernández, F., & Galvis, J. (2015). Grupos funcionales de árboles en bosques secundarios de la región Bajo Calima (Buenaventura, Colombia). *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. U. de Caldas*, 19(1), 17-40. DOI: 10.17151/bccm.2015.19.1.2
- Brilhante de albuquerque, E. & De Jesus, L. (2004). *Anatomía foliar de alpina zerumbet* (pers.) burtt & smith (zingiberaceae).
- Bucheli, P. (2012). *Evaluación de los rasgos funcionales radicales de especies arbóreas en sistemas silvopastoriles en relación con el contenido de humedad del suelo en Rivas, Nicaragua*.
- Buschhaus, C. & R. Jetter. (2011). Composition differences between epicuticular and intracuticular wax substructures: how do plants seal their epidermal surfaces. *J. Exp. Bot.* 62: 841–853.
- Cabido, M., A. Manzur, M. I., Carranza & C. Cionzalez. (1993). [vegetación y el medio físico del Chaco Arido en la Provincia de Córdoba. Argentina Central. *Phytocoenologia* 24: 423-460.
- Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M. S., Delitti, W. B., ... & Vieilledent, G. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20(10), 3177-3190.
<https://doi.org/10.1111/gcb.12629>
- Chave, J., Coomes, D., Jansen, S., Lewis, S. L., Swenson, N. G., & Zanne, A. E. (2009). Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecology letters*, 12(4), 351-366
- Ciciarelli M. M. & c. H. R oller. (2008). Morfología, taxonomía y caracterización de siete especies neotropicales del género *Canna* (Cannaceae). *Bot. Complut.* 32: 157-184. PI. Cell Environm. 17: 963-970.
- Ciciarelli. M., Pesarelli M., (2015). Caracteres foliares en diez especies neotropicales y argentinas de *canna* (Cannaceae, Zingiberales).
http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-23722017000100008.
- Cintrón, G., & Schaeffer, Y. (1983). *Introducción a la ecología del manglar* (No. 574.52632 C5). Montevideo: Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la Unesco para América Latina y el Caribe.

- Conti, G., & Díaz, S. (2013). Plant functional diversity and carbon storage—An empirical test in semi-arid forest ecosystems. *Journal of Ecology*, 101(1), 18-28. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12012>.
- Corella, J., Valdez, H., Cetina, A., González, C., Trinidad, S., & Aguirre, R. (2001). Estructura forestal de un bosque de mangles en el noreste del estado de Tabasco, México. *Ciencia Forestal en México*, 26(90), 73-102.
- Cornelissen, J. H. C., Pérez-Harguindeguy, N., Díaz, S., Grime, J. P., Marzano, B., Cabido, M., et al. (1999). Leafstructure and defence control litter decomposition rate across species and life forms in regional flora on two continents. *New Phytologist*, 143, 191–200
- Cornelissen, J., Lavorel, S., Garnier, E., Díaz, S., Buchmann, N., Gurvich, D., ... & Poorter, H. (2003). A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian journal of Botany*, 51(4), 335-380.
- Cox, W. (1981). *Laboratory manual of general ecology*. William C. Brown Co. Publishelowa, USA.
- Cuesta, F., P. Muriel, S. Beck, R. I. Meneses, S. Halloy, S. Salgado, E. Ortiz & M. T. Becerra. (Editores). (2013). *Biodiversidad y cambio climático en los Andes Tropicales - Conformación de una red de investigación para monitorear sus impactos y delinear acciones de adaptación*. Red Gloria-Andes.
- Curtis, J., & McIntosh, R. (1951). An upland forest continuum in the pariré-forest border region of Wisconsin. *Ecology*, (32), 476-496.
- Daviran, R. (2024). *Efecto de rasgos funcionales de especies arbóreas en la fijación de carbono y calidad del suelo en un bosque premontano en Tingo María-Perú*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2777>
- De la Riva, E. G., Pérez, I., Fernández, C. N., Olmo, M., Arana, T. M., & Villar, R. (2014). Rasgos funcionales en el género *Quercus*: estrategias adquisitivas frente a conservativas en el uso de recursos. *Ecosistemas*, 23(2), 82-89.
- Di Rienzo J.A; Casanoves F.; Balzarini M.G; Gonzalez L; Tablada M; Robledo C.W. (2017). InfoStat versión 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>.

- Díaz, E. (2022). Análisis estructural del bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva mediante parcelas permanentes de medición en la Universidad nacional Agraria de la Selva, 2019. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional. <http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/1359/T.EPGEDQ-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Díaz, S. & Cabido. (1997). Plant functional types and ecosystem function in response to global change: a multiscale approach. *J. Veg- Sci.* 8: 463-474.
- Díaz S, F Quétier, DM Cáceres, SF Trainor, N Pérez-Harguindeguy, MS Bret-Harte, B Finegan, M Peña-Claros, L Poorter. (2011). Linking functional diversity and social actor strategies in a framework for interdisciplinary analysis of nature's benefits to society. *PNAS* 108(3): 895-90.
- Díaz, S., Kattge, J., Cornelissen, J. H. C., Wright, I. J., Lavorel, S., Dray, S., ... & Gorné, L. D. (2016). The global spectrum of plant form and function. *Nature*, 529(7585), 167-171. <https://doi.org/10.1038/nature16489>.
- Díaz, S., Purvis, A., Cornelissen, J. H. C., Mace, G. M., Donoghue, M. J., Ewers, R. M., & Pearse, W. D. (2013). Functional traits, the phylogeny of function, and ecosystem service vulnerability. *Ecology and Evolution*, 3(9), 2958-2975. <https://doi.org/10.1002/ece3.601>
- De la Riva, E. G., Pérez, I., Fernández, C. N., Olmo, M., Arana, T. M., & Villar, R. (2014). Rasgos funcionales en el género *Quercus*: estrategias adquisitivas frente a conservativas en el uso de recursos. *Ecosistemas*, 23(2), 82-89.
- Domínguez, D. (2024). Caracterización de rasgos funcionales de *Parkia panurensis* “pashaco colorado” en colinas bajas y altas. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2702>
- Dueñas, M. (2009). *Valorización económica del servicio hídrico en el BRUNAS*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Agraria de la Selva].
- Finegan, B., Peña-Claros, M., de Oliveira, A., Ascarrunz, N., Bret-Harte, M., Carreño-Rocabado, G., ... & Poorter, L. (2015). Does functional trait diversity predict above-ground biomass and productivity of tropical forests? Testing three alternative hypotheses. *Journal of Ecology*, 103(1), 191-201. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12346>.

- Garnier, E., Navas, M.-L., & Grigulis, K. (2015). *Plant Functional Diversity: Organism traits, community structure, and ecosystem properties* (First edition). Oxford, United Kingdom: Oxford University Press.
- Guzmán, M. V. (2020). *Relación entre daño foliar y los rasgos funcionales foliares en plantas de especies con estrategias adquisitivas y conservativas en un bosque altoandino colombiano Bogotá - Torca*. Retrieved from <https://ciencia.lasalle.edu.co/biologia/100>.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación (6 ed). McGraw-Hill. <http://virtual.urbe.edu/tesispub/0095948/cap03.pdf>
- Holdridge, L. R. (1987). *Ecología basada en zonas de vida* (No. 83). Agroamérica.
- Hoorens, B., Coomes, D., & Aerts, R. (2010). Neighbour identity hardly affects litter-mixture effects on decomposition rates of New Zealand forest species. *Oecologia*, 162(2), 479-489.
- Houghton, R., Hall, F., & Goetz, S. (2009). Importance of biomass in the global carbon cycle. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 114(G2), G00E03 1-13. <https://doi.org/10.1029/2009JG000935>
- IPCC. (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Core Writing Team, R.K. Pachauri & A. Reisinger (eds.)]. IPCC. <https://www.ipcc.ch/report/ar4/syr/>
- Jacobo, A. E., García, J. L., & Morales, M. A. (2013). *La investigación científica y su clasificación: básica, aplicada y tecnológica*. *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa*, 1(1), 1-15. Recuperado de <https://www.pag.org.mx/revistas/index.php/PAG/article/view/27>
- Kitzberger T., Veblen, T. & Villalba, R. (2000). *Métodos dendroecológicos y sus aplicaciones en estudios de dinámica de bosques templados de Sudamérica*. (Ed.). Dendrocronología en América Latina. Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza.
- Lamprecht, H. (1990). *Silvicultura en los Trópicos; Los ecosistemas Forestales en los bosques Tropicales y sus especies arbóreas posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido*.
- Lavorel, S. (2013). Plant functional effects on ecosystem services. *Journal of Ecology*, 101(1), 4-8. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12031>

- Lavorel, S., Rochette, C., & Lebreton, J. (1999). Functional Groups for Response to Disturbance in Mediterranean Old Fields. *Revista Oikos*, 84(3), 480–498. <https://doi.org/10.2307/3546427>
- Lohbeck, M., Lebrija, E., Martínez-Ramos, M., Meave, J. A., Poorter, L., & Bongers, F. (2015). Functional trait strategies of trees in dry and wet tropical forests are similar but differ in their consequences for succession. *PloS one*, 10(4), e0123741.
- Martínez, A. (2019). *Estimación de la captura de carbono y evaluación del riesgo del bosque urbano del Tecnológico de Antioquia Institución Universitaria*. <https://dspace.tdea.edu.co/handle/tda/473>
- Minaya, F. (2023). *Rasgos funcionales de diámetro, altura y copa de especies forestales según estrategia adaptativa y conservativa en bosques de colina baja y alta de Tingo María – Huánuco*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2600>
- Montes, C. S. (2014). *Relaciones alométricas para estimar biomasa aérea en bosques tropicales* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana].
- Nock, C. A., Vogt, R. J., & Beisner, B. E. (2016). Functional Traits. En John Wiley & Sons Ltd (Ed.), *ELS* (pp. 1-8). <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0026282>
- Panel Intergubernamental de Cambio Climático. (2007). *Climate Change 2007, the IPCC Fourth Assessment Report*. International Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland.
- Perlin, J. (1999). *Historia de los Bosques. El significado de la madera en el desarrollo de la civilización*. Gaia Proyecto 2050.
- Pool, D., Snedaker, S., & Lugo, A. (1977). Structure of mangrove forest in Florida, Puerto Rico, México and Costa Rica. *Biotropica*, 9(3), 195-212.
- Poorter, H., & Villar, R. (1997). The fate of acquired carbon in plants: chemical composition and construction costs. En H. Lambers, H. Poorter, & M. M. I. Van Vuuren (Eds.), *Inherent variation in plant growth. Physiological mechanisms and ecological consequences* (pp. 39-72). Backhuys Publishers.
- Puerta, R. H. (2007). *Modelo digital de elevación del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva*. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María – Perú: Repositorio UNAS.

- Reich, P.B., Walters, M.B. & Ellsworth, D. S. (1992). Leaflife-span in relation to leaf, plant, and stand characteristics among diverse ecosystems. *Ecological Monographs*, 62, 365–392
- Reich, P. B., Luo, Y., Bradford, J. B., Poorter, H., Perry, C. H. y Oleksyn, J. (2014). Temperature drives global patterns in forest biomass distribution in leaves, stems, and roots. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111, 13721–13726
- Ruiz , M., García , C., & Sayer, J. A. (2007). Los servicios ambientales de los bosques y ecosistemas, 16(3), 80-89. <https://www.redalyc.org/pdf/540/54016309.pdf>
- Salazar, R. (2022). *Rasgos funcionales de la vegetación arbórea de un bosque de colina y su relación con los servicios ecosistémicos de aprovisionamiento*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2131>
- Salgado, B. (Ed.). (2015). La ecología funcional como aproximación al estudio, manejo y conservación de la biodiversidad: Protocolos y aplicaciones. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Salgado, B., Pulido, N., Cabrera, M., Ruíz, C., & Paz, H. (2015). Protocolo para la medición de rasgos funcionales en plantas. En B. Salgado-Negret (Ed.), *La ecología funcional como aproximación al estudio, manejo y conservación de la biodiversidad: Protocolos y aplicaciones* (p. 236). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Sánchez, H. (1984). *Metodología y diseños de la investigación científica*. Editorial Mantaro.
- Sayer, J.A., Vanclay, J.K. & Byron, N. (1997). Technologies for sustainable forest management: challenges for the 21st century.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2022). *Boletín hidroclimático regional dirección zonal 10, Huánuco*. <https://hdl.handle.net/20.500.12542/1821>
- Sgot, C. (2014). *Estudio de diagnóstico y zonificación para el tratamiento de demarcación territorial de la Provincia de Leoncio Prado*. Huánuco.
- Silva, A. (2018). *Diversidad funcional a través de una gradiente de uso de suelo en la cuenta de Lucre – Provincia de Quispicanchi*. [Tesis de Título, Universidad Nacional San

- Antonio Abad del Cusco]. Repositorio institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.12918/4943>
- Supo, J. (2014). Seminarios de investigación científica: Metodología de la investigación para las ciencias de la salud. Bioestadístico.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Plant physiology*. (4th ed.). Sinauer Associates.
- Tilman, D. (1999). The ecological consequences of changes in biodiversity: a search for general principles. *Ecology* 80(5): 1455–1474
- Trinidad, J. (2020). *Comportamiento de especies forestales en grupos funcionales con fines de restauración ecológica en un cafetal abandonado, caserío San Juan, región San Martín*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/1735>
- Universidad Nacional Agraria de la Selva. (2017). *Informe de datos meteorológicos de precipitaciones*. Gabinete de Climatología y Meteorología, UNAS.
- Valderrama, S. (2013). *Pasos para elaborar proyectos de investigación científica*. (2^{da} Ed.). San Marcos.
- Van Arendonk, J., & Poorler, H. (1994). The chemical composition and anatomical structure of leaves of grass species differing in relative growth rate.
- Vela, A. (2019). *Rasgos funcionales asociados al servicio ecosistémico de mitigación del cambio climático en árboles de colinas altas del Bosque Reservado de la UNAS – Tingo María* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1722/TS_VZAW_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Vendramini, F., Díaz, S., Pérez, N., Cabido, M., Llano, J.M & A Castellanos, A. *Composición química y caracteres foliares en plantas de distintos tipos funcionales del centro-oeste de Argentina*. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/35004/CONICET_Digital_Nro.3c958c10-3ee7-416a-994a-ef78eb43d675_D.pdf?sequence=5&isAllowed=y.
- Villacis, J., Córdova, K., Pozo, W., Hang, S., & Casanoves, F. (2014). *Identificación de grupos funcionales de especies forestales utilizadas en biorremediación de áreas afectadas por la explotación de petróleo*.

- Warnock R, Valenzuela J, Trujillo A, Madriz P, Gutiérrez M. (2006). Área foliar, componentes del área foliar y rendimiento de seis genotipos de caraota. *Agron. Trop.* 56(1):21–42
- Wright, I. J., Reich, P. B., Westoby, M., Ackerly, D. D., Baruch, Z., Bongers, F., Cavender-Bares, J., Chapin, T., Cornelissen, J. H. C., Diemer, M., Flexas, J., Garnier, E., Groom, P. K., Gulias, J., Hikosaka, K., Lamont, B. B., Lee, T., Lee, W., Lusk, C., ... Villar, R. (2004). The worldwide leaf economics spectrum. *Nature*, 428 (6985), 821–827. <https://doi.org/10.1038/nature02403>
- Yala, C. C., Tatis, H. A., & Causil, C. B. (2009). Estimación del área foliar de papaya (*Carica papaya* L.) basada en muestreo no destructivo, 12(1), 131-139.
- Zhang, Y., Chen, H. Y. H. y Reich, P. B. (2012). Forest productivity increases with evenness, species richness and trait variation: a global meta-analysis. *Journal of Ecology*, 100, 742–749.
- Zelada, H., & Reynel, C. (2019). Estimación de rasgos funcionales en dos especies arbóreas de una gradiente altitudinal tropical en el centro del Perú. *Revista Forestal del Perú*, 34(82), 132–143.

ANEXOS

ANEXO A: Datos de campo del área de estudio

Tabla 5. Datos de las 10 especies seleccionadas en la PPM 4.

Nº. SUB PARCELA	CÓDIGO	NOMBRE CIENTÍFICO	DAP (cm)	AB (m2)	HT (m)	HC (m)	DC
3	19	<i>Senefeldera inclinata</i> Müll. Arg.	24,67	0,05	31,45	20,56	15,7
7	6	<i>Senefeldera inclinata</i> Müll. Arg.	13,08	0,01	16,85	8,64	14,3
9	4	<i>Senefeldera inclinata</i> Müll. Arg.	21,55	0,04	21,48	6,93	15,7
11	13	<i>Senefeldera inclinata</i> Müll. Arg.	15,88	0,02	19,96	14,71	15,77
12	6	<i>Senefeldera inclinata</i> Müll. Arg.	26,83	0,06	20,36	11,06	19,5
16	16	<i>Senefeldera inclinata</i> Müll. Arg.	19,10	0,03	14,17	10,56	11,04
17	10	<i>Senefeldera inclinata</i> Müll. Arg.	24,51	0,05	21,96	15,13	10,49
21	4	<i>Senefeldera inclinata</i> Müll. Arg.	17,00	0,02	28,19	15,61	14
22	13	<i>Senefeldera inclinata</i> Müll. Arg.	15,79	0,02	18,52	11,88	13,38
23	6	<i>Senefeldera inclinata</i> Müll. Arg.	24,57	0,05	24,70	10,80	16,76
2	12	<i>Pourouma minor</i> Benoist	38,67	0,12	22,46	15,29	8,05
2	1	<i>Pourouma minor</i> Benoist	45,73	0,16	26,50	16,29	11,6
4	9	<i>Pourouma minor</i> Benoist	42,37	0,14	29,03	19,16	15,13
5	9	<i>Pourouma minor</i> Benoist	23,68	0,04	24,49	15,30	21,75
8	16	<i>Pourouma minor</i> Benoist	43,48	0,15	34,64	22,50	13,92
13	3	<i>Pourouma minor</i> Benoist	53,16	0,22	30,78	26,17	11,2
17	23	<i>Pourouma minor</i> Benoist	14,39	0,02	18,43	15,88	6,82
19	16	<i>Pourouma minor</i> Benoist	28,81	0,07	23,13	13,09	16,9
24	12	<i>Pourouma minor</i> Benoist	37,24	0,11	30,92	17,74	18,9
25	1	<i>Pourouma minor</i> Benoist	45,42	0,16	26,76	19,29	17,9
2	25	<i>Otoba parvifolia</i> (Markgr.) A.H. Gentry	15,72	0,02	10,25	2,67	8,5
3	4	<i>Otoba parvifolia</i> (Markgr.) A.H. Gentry	13,24	0,01	17,89	10,55	8,65
6	1	<i>Otoba parvifolia</i> (Markgr.) A.H. Gentry	63,03	0,31	38,85	27,20	14,09
7	24	<i>Otoba parvifolia</i> (Markgr.) A.H. Gentry	12,00	0,01	36,78	18,25	11,71
9	7	<i>Otoba parvifolia</i> (Markgr.) A.H. Gentry	17,03	0,02	15,76	8,93	8,74
10	4	<i>Otoba parvifolia</i> (Markgr.) A.H. Gentry	11,94	0,01	12,44	10,17	9,85
12	17	<i>Otoba parvifolia</i> (Markgr.) A.H. Gentry	35,81	0,10	30,74	24,90	16,39
13	20	<i>Otoba parvifolia</i> (Markgr.) A.H. Gentry	16,49	0,02	24,40	15,53	8,87
14	30 - R4	<i>Otoba parvifolia</i> (Markgr.) A.H. Gentry	10,73	0,01	13,21	7,92	10,6
18	1	<i>Otoba parvifolia</i> (Markgr.) A.H. Gentry	56,37	0,25	28,03	22,81	10,3
4	21	<i>Cecropia sciadophylla</i> Mart.	44,56	0,16	27,59	23,09	18,2
5	3	<i>Cecropia sciadophylla</i> Mart.	28,52	0,06	24,59	17,78	19,22
5	6	<i>Cecropia sciadophylla</i> Mart.	20,47	0,03	24,08	20,45	8,01
5	7	<i>Cecropia sciadophylla</i> Mart.	25,59	0,05	31,78	24,59	10,55
13	22 - R1	<i>Cecropia sciadophylla</i> Mart.	13,05	0,01	20,24	17,50	8,86
14	2	<i>Cecropia sciadophylla</i> Mart.	27,06	0,06	16,45	15,40	17,2
14	17	<i>Cecropia sciadophylla</i> Mart.	27,37	0,06	27,52	19,10	11,5
14	2	<i>Cecropia sciadophylla</i> Mart.	42,02	0,14	28,04	23,16	10,42
20	10	<i>Cecropia sciadophylla</i> Mart.	10,92	0,01	19,52	12,61	12,99
23	16	<i>Cecropia sciadophylla</i> Mart.	28,07	0,06	29,99	21,23	10,5

1	12 - R1	<i>Schizocalyx peruvianus</i> (K. Krause) Kainul. & B. Bremer	11,90	0,01	11,22	2,79	8,9
2	10	<i>Schizocalyx peruvianus</i> (K. Krause) Kainul. & B. Bremer	25,24	0,05	20,03	9,89	9,85
3	3	<i>Schizocalyx peruvianus</i> (K. Krause) Kainul. & B. Bremer	11,71	0,01	10,32	7,87	6,5
7	21	<i>Schizocalyx peruvianus</i> (K. Krause) Kainul. & B. Bremer	11,81	0,01	12,39	7,10	6,76
8	8	<i>Schizocalyx peruvianus</i> (K. Krause) Kainul. & B. Bremer	11,87	0,01	11,51	5,75	7,85
10	9	<i>Schizocalyx peruvianus</i> (K. Krause) Kainul. & B. Bremer	18,33	0,03	20,53	16,30	12,83
11	18	<i>Schizocalyx peruvianus</i> (K. Krause) Kainul. & B. Bremer	22,15	0,04	13,21	9,68	12,46
13	18	<i>Schizocalyx peruvianus</i> (K. Krause) Kainul. & B. Bremer	18,33	0,03	18,19	13,01	7,25
19	11	<i>Schizocalyx peruvianus</i> (K. Krause) Kainul. & B. Bremer	12,41	0,01	13,24	12,28	11,65
12	8	<i>Schizocalyx peruvianus</i> (K. Krause) Kainul. & B. Bremer	11,14	0,01	10,59	4,71	7,47
3	20	<i>Dacryodes nitens</i> Cuatrec.	19,77	0,03	17,53	12,29	7,55
8	3	<i>Dacryodes nitens</i> Cuatrec.	97,40	0,75	30,03	15,23	18
9	1	<i>Dacryodes nitens</i> Cuatrec.	27,53	0,06	25,70	11,54	8,91
10	1	<i>Dacryodes nitens</i> Cuatrec.	14,07	0,02	15,91	12,54	7,27
12	12	<i>Dacryodes nitens</i> Cuatrec.	24,32	0,05	14,64	6,86	15,27
12	1	<i>Dacryodes nitens</i> Cuatrec.	49,66	0,19	22,32	9,16	19,8
14	5	<i>Dacryodes nitens</i> Cuatrec.	43,61	0,15	28,12	18,01	13,9
18	2	<i>Dacryodes nitens</i> Cuatrec.	31,10	0,08	30,00	16,31	13,98
18	8	<i>Dacryodes nitens</i> Cuatrec.	30,72	0,07	22,10	16,48	11,9
20	17	<i>Dacryodes nitens</i> Cuatrec.	27,95	0,06	21,60	15,69	19,71
15	14	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	21,65	0,04	16,49	7,19	15,3
20	1	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	27,06	0,06	21,40	16,66	16,95
21	8	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	40,49	0,13	26,46	12,90	24,65
21	13	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	44,60	0,16	25,45	16,14	21,2
21	15	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	27,47	0,06	21,74	13,52	14,7
21	19	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	10,00	0,01	19,66	13,33	6,92
21	24	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	14,04	0,02	21,59	14,08	7,69
21	1	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	47,24	0,18	32,10	14,16	15,5
5	17	<i>Hevea guianensis</i> Aubl.	33,42	0,09	29,04	18,82	22,2
6	4	<i>Hevea guianensis</i> Aubl.	40,33	0,13	28,49	24,71	12,9
11	1	<i>Hevea guianensis</i> Aubl.	51,95	0,21	25,55	15,80	19,18
12	15	<i>Hevea guianensis</i> Aubl.	23,11	0,04	20,90	8,31	14,62
16	2	<i>Hevea guianensis</i> Aubl.	45,20	0,16	29,76	22,05	17,22
19	6	<i>Hevea guianensis</i> Aubl.	12,73	0,01	10,67	8,44	4,82
21	2	<i>Hevea guianensis</i> Aubl.	48,06	0,18	30,84	13,92	36,36
22	23	<i>Hevea guianensis</i> Aubl.	14,13	0,02	18,60	14,92	6,6
23	1	<i>Hevea guianensis</i> Aubl.	72,03	0,41	30,02	16,17	28
24	5	<i>Hevea guianensis</i> Aubl.	38,96	0,12	13,03	21,21	17,88
6	12	<i>Psychotria levis</i> (Standl.) CM Taylor	19,77	0,03	20,05	11,05	11,84
14	15	<i>Psychotria levis</i> (Standl.) CM Taylor	23,75	0,04	16,78	13,30	10,1
21	11	<i>Psychotria levis</i> (Standl.) CM Taylor	22,19	0,04	23,75	13,33	19,24
21	12	<i>Psychotria levis</i> (Standl.) CM Taylor	15,09	0,02	20,79	8,83	10,83
21	17	<i>Psychotria levis</i> (Standl.) CM Taylor	19,61	0,03	14,38	11,51	8,76
21	18	<i>Psychotria levis</i> (Standl.) CM Taylor	12,70	0,01	15,59	13,50	16,15
21	21	<i>Psychotria levis</i> (Standl.) CM Taylor	30,97	0,08	19,66	13,33	8,9
22	4	<i>Psychotria levis</i> (Standl.) CM Taylor	15,47	0,02	13,49	11,14	6,55

1	13 - R2	<i>Theobroma subincanum</i> Mart.	12,87	0,01	13,48	9,89	9,8
2	1	<i>Theobroma subincanum</i> Mart.	32,47	0,08	17,47	10,58	10,12
2	16	<i>Theobroma subincanum</i> Mart.	19,70	0,03	11,09	6,90	10,4
10	2	<i>Theobroma subincanum</i> Mart.	14,32	0,02	17,10	13,14	9,32
12	13	<i>Theobroma subincanum</i> Mart.	13,53	0,01	14,04	9,02	12,91
13	7	<i>Theobroma subincanum</i> Mart.	19,10	0,03	18,18	16,85	9,36
10	18	<i>Theobroma subincanum</i> Mart.	15,44	0,02	15,84	15,19	11,75
16	8	<i>Theobroma subincanum</i> Mart.	12,41	0,01	6,67	4,32	8,67
20	6	<i>Theobroma subincanum</i> Mart.	31,83	0,08	18,75	10,53	14,8
24	17	<i>Theobroma subincanum</i> Mart.	32,75	0,08	18,88	10,81	8,02

Tabla 6. Datos de rasgos funcionales foliares de las especies seleccionadas.

Especie	PF	PS	M.O.	AF
<i>Senefeldera inclinata</i>	12,22	6,63	34,72	307,96
<i>Pourouma minor</i>	23,58	12,14	31,96	377,52
<i>Otoba parvifolia</i>	12,94	7,18	47,25	328,28
<i>Cecropia sciadophylla</i>	83,99	56,87	41,77	3479,80
<i>Schizocalyx peruvianus</i>	11,57	4,00	29,87	338,04
<i>Dacryodes nitens</i>	21,03	6,47	27,49	404,84
<i>Tapirira guianensis</i>	6,50	2,65	42,88	255,84
<i>Hevea guianensis</i>	6,87	4,40	37,23	302,04
<i>Psychotria levis</i>	10,84	2,38	26,25	251,2
<i>Theobroma subincanum</i>	9,67	4,40	32,73	330,76

Tabla 7. Datos de los rasgos funcionales vegetativos de las especies seleccionadas.

Especie	DAP	AB	DC	HT	DM	AGB	CBt	EF
<i>Senefeldera inclinata</i>	20,30	0,03	14,06	21,76	0,65	12091,36	6045,68	2
<i>Pourouma minor</i>	37,29	0,12	14,22	26,71	0,48	48389,38	24194,69	1
<i>Otoba parvifolia</i>	25,24	0,08	10,77	22,88	0,53	33916,64	16958,32	1
<i>Cecropia sciadophylla</i>	26,76	0,06	12,75	24,98	0,34	25407,70	12703,85	1
<i>Schizocalyx peruvianus</i>	15,49	0,02	9,15	14,12	0,48	5408,79	2704,40	1
<i>Dacryodes nitens</i>	36,61	0,15	13,63	22,80	0,53	53871,12	26935,56	1
<i>Tapirira guianensis</i>	29,07	0,08	15,36	23,11	0,51	24279,91	12139,95	1
<i>Hevea guianensis</i>	37,99	0,14	17,98	23,69	0,51	52303,82	26151,91	1
<i>Psychotria levis</i>	19,94	0,03	11,55	18,06	0,30	7978,20	3989,10	1
<i>Theobroma subincanum</i>	20,44	0,04	10,52	15,15	0,42	10080,45	5040,22	1

ANEXO C: PANEL FOTOGRÁFICO

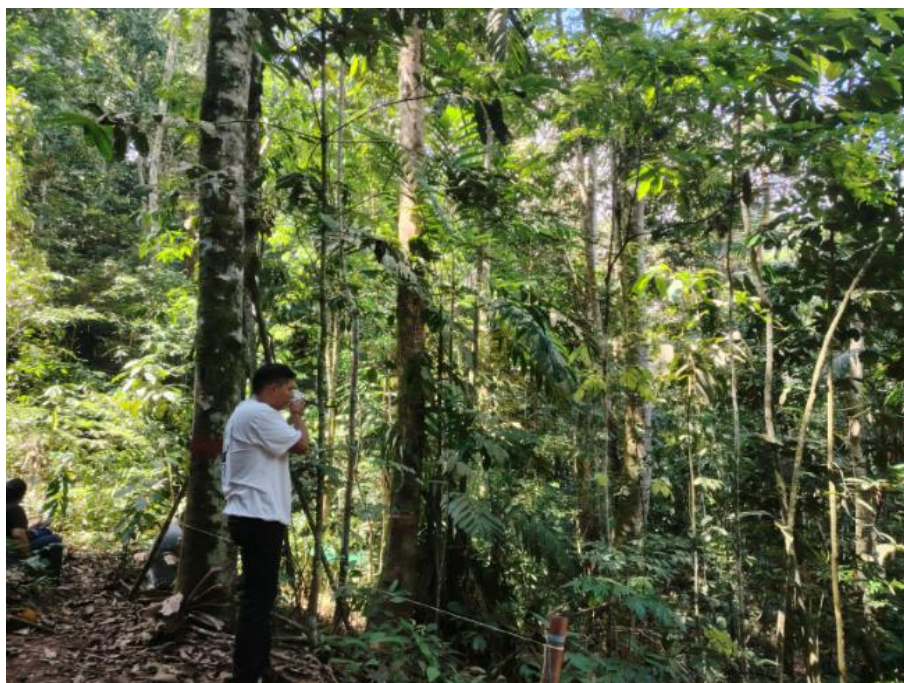


Figura 10. Mediciones de la altura de los árboles en la PPM 4.



Figura 11. Mediciones del diámetro del fuste.



Figura 12. Materiales y equipos para la evaluación de los rasgos funcionales foliares.



Figura 13. Medición del área foliar de cada especie seleccionada.



Figura 14. Lectura del área foliar por especie.



Figura 15. Registro de peso de hojas después del secado en horno.