

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

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



**CARACTERES FUNCIONALES FOLIARES Y COMPOSICIÓN QUÍMICA
ORGÁNICA DE TRES ESPECIES ARBÓREAS DE UN BOSQUE DE SELVA ALTA
DE TINGO MARÍA, HUÁNUCO, PERÚ**

TESIS

Para optar el título de:

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

PRESENTADO POR:

MAXIULER JUAN AGUIRRE CAMPOS

Tingo María – Perú

2025



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 049-2025-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 11 de abril de 2025, a horas 5:00 p.m. a través de la Sala Virtual de Conferencias Microsoft Teams de 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:

“CARACTERES FUNCIONALES FOLIARES Y COMPOSICIÓN QUÍMICA ORGÁNICA DE TRES ESPECIES ARBÓREAS DE UN BOSQUE DE SELVA ALTA DE TINGO MARÍA, HUÁNUCO, PERÚ”

Presentado por el Bachiller: **AGUIRRE CAMPOS, MAXIULER JUAN**, 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, la 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, 05 de mayo de 2025

Ph. D. LUIS ALBERTO VALDIVIA ESPINOZA
PRESIDENTE

Ing. MSc. EDILBERTO DIAZ QUINTANA
MIEMBRO



Ing. MSc. ANDY WILLIAMS VELA ZEVALLOS
MIEMBRO

Dr. CASIANO AGUIRRE ESCALANTE
ASESOR

Ph.D. RAFAEL RENE ROBLES RODRIGUEZ
ASESOR



"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 148 - 2025 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación 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% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Ingeniería en Recursos Naturales Renovables

Tipo de documento:

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

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
CARACTERES FUNCIONALES FOLIARES Y COMPOSICIÓN QUÍMICA ORGÁNICA DE TRES ESPECIES ARBÓREAS DE UN BOSQUE DE SELVA ALTA DE TINGO MARÍA, HUÁNUCO, PERÚ	MAXIULER JUAN AGUIRRE CAMPOS	15 % Quince

Tingo María, 26 de mayo de 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Dr. Tomás Menacho Mallqui
JEFE

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES



CARACTERES FUNCIONALES FOLIARES Y COMPOSICIÓN QUÍMICA ORGÁNICA DE TRES ESPECIES ARBÓREAS DE UN BOSQUE DE SELVA ALTA DE TINGO MARÍA, HUÁNUCO, PERÚ

Autor	: Aguirre Campos, Maxiuler Juan
Asesores	: Dr. Casiano Aguirre Escalante : Ph. D Rafael Rene Robles Rodríguez
Programa de investigación	: Valorización de la biodiversidad, recursos naturales y biotecnología
Línea de investigación	: Manejo, conservación y aprovechamiento sostenible de la biodiversidad, Recursos Naturales, bienes y servicios ecosistémicos
Eje temático	: Restauración ecológica del paisaje
Lugar de ejecución	: BRUNAS – Tingo María
Duración	: 6 meses
Presupuesto	: S/ 4 950,00
FEDU	: No
Propio	: Si
Otros	: No

DEDICATORIA

A Dios, por acompañarme en todo este proceso de mi vida, desde que nací hasta ahora, de ese modo permitiéndome hacer realidad esta investigación, por brindarme salud, cuidado y amor en mi vida.

A mis hermanos; Fleiver Aguirre Campos, Nelson Aguirre Campos, Beker Aguirre campos.

A mis hermanas; Elvia Aguirre Campos, Marisol Aguirre Campos, Teófila Aguirre Campos y Norma Aguirre Campos, por su apoyo incondicional, por ser mi fuente de inspiración en todo este proceso.

A mi querida madre, desde el cielo, Justa Campos Brandan, que nunca dudó de mí, por su apoyo incondicional en cada momento, por ser mi soporte en cada momento, su atención y cuidado que me dio, agradecimiento también a mi padre: Justo Aguirre Periz.

Finalmente, un agradecimiento especial a toda mi familia, quien me fue un soporte importante para todo este proceso de mi vida, y mi formación profesional, siempre los llevo en mi corazón.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por la vida y la salud en mi vida, por permitirme estar cerca a mi familia en todo este proceso de mi vida profesional y por permitirme estar en sus hogares.

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, docentes de la Facultad de Recursos Naturales Renovables y Escuela profesional de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, por toda la enseñanza compartida y valores que me proporciono.

A mis asesores, Dr. Casiano Aguirre Escalante y al Ph. D. Rafael Rene Robles Rodríguez, por la orientación brindada durante la ejecución del proyecto.

A mis jurados de tesis Ph. D. Luis Alberto Valdivia Espinoza, Ing. M. Sc. Edilberto Diaz Quintana, Ing. M. Sc. Andy Williams Vela Zevallos, M. Sc Warren Ríos García, por el apoyo, el interés en mejorar mi investigación y por la formación académica que me dieron en todos estos años de mi permanencia a esta Universidad.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Marco teórico.....	3
2.1.1. Grupos funcionales	3
2.1.2. Rasgos funcionales	3
2.1.3. Ecología funcional	5
2.1.4. Caracteres foliares en relación con los rasgos funcionales.....	6
2.1.5. Respuestas de las plantas a ambientes heterogéneos de luz y nutrientes.....	10
2.1.6. Factores que afectan la distribución de especies	11
2.2. Estado del arte	13
III. MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1. Lugar de ejecución.....	17
3.1.1. Ubicación geográfica	17
3.1.2. Ubicación política	17
3.1.3. Características climáticas.....	18
3.2. Material y métodos	18
3.2.1. Materiales y equipos	18
3.2.2. Metodología.....	18
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
4.1. Determinación de los caracteres funcionales foliares de tres especies arbóreas.....	25
4.1.1. Materia seca (%) de tres especies arbóreas.....	25
4.1.2. Área foliar específica (cm ² /g).....	27
4.1.3. Área foliar (cm ²)	29
4.1.4. Largo de la hoja (cm).....	31
4.1.5. Ancho de la hoja (cm).....	33
4.2. Determinación de la composición química orgánica de tres es especies arbóreas.....	35
4.2.1. Composición del carbono (%)	35

4.2.2. Composición del nitrógeno (%).....	37
4.2.3. Composición del fósforo (%).....	40
4.3. Correlación de la composición química orgánica y los caracteres funcionales foliares de tres especies arbóreas	42
4.3.1. Correlación de los caracteres foliares y composición química de la especie <i>D. nitens</i>	42
4.3.2. Correlación de los caracteres foliares y composición química de la especie <i>P. minor</i>	43
4.3.3. Correlación de los caracteres foliares y composición química de la especie <i>S. inclinata</i>	45
V. CONCLUSIONES	47
VI. PROPUESTAS A FUTURO.....	48
VII. REFERENCIAS.....	49
ANEXOS	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Coordenadas de la PPM N° 4.....	17
2. Lista de especies que representan al IVI.	19
3. Lista de especies considerados como tratamientos.	20
4. Modelo del análisis de la varianza.	22
5. Estadísticos para la materia seca foliar (%) de tres especies arbóreas.	26
6. Análisis de la varianza para la materia seca foliar (%) de tres especies arbóreas.	26
7. Estadísticos descriptivos para el área foliar específica (cm ² /g) de tres especies arbóreas.	28
8. Análisis de la varianza del área foliar específica (cm ² /g) de tres especies arbóreas.	28
9. Estadísticos descriptivos para el área foliar (cm ²) de tres especies arbóreas.	30
10. Análisis de la varianza para el área foliar (cm ²) de tres especies arbóreas.	30
11. Estadísticos descriptivos para el largo de las hojas (cm) de tres especies arbóreas.	32
12. Análisis de la varianza para el largo de las hojas (cm) de tres especies arbóreas.	32
13. Estadísticos descriptivos para el ancho de las hojas (cm) de tres especies arbóreas.	34
14. Análisis de la varianza para el ancho de las hojas (cm) de tres especies arbóreas.	34
15. Estadísticos descriptivos para el contenido de carbono foliar (%) de tres especies arbóreas.	36
16. Análisis de la varianza del carbono foliar (%) de tres especies arbóreas.	37
17. Estadísticos descriptivos para el contenido de nitrógeno foliar (%) de tres especies arbóreas.	38
18. Análisis de la varianza para el contenido de nitrógeno foliar (%) de tres especies arbóreas.	39
19. Estadísticos descriptivos para el contenido de fósforo foliar (%) de tres especies arbóreas.	41

20.	Análisis de la varianza para el fósforo foliar (%) de tres especies arbóreas.	42
21.	Correlación de los caracteres foliares y composición química de la especie <i>D. nitens</i>	43
22.	Correlación de los caracteres foliares y composición química de la especie <i>P. minor</i>	44
23.	Correlación de los caracteres foliares y composición química de la especie <i>S. inclinata</i>	46
24.	Matriz de datos de los caracteres funcionales foliares de tres especies arbóreas.	58
25.	Matriz de datos del carbono, nitrógeno y fósforo de tres especies arbóreas.	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Dispersión de las especies forestales dentro de la PPM IV.....	17
2. Recorrido del muestreo dentro de la PPM IV.	19
3. Croquis de la distribución de las especies – PPM 04-BRUNAS.	21
4. Promedio y desviación estándar de la materia seca foliar (%) de tres especies arbóreas.	26
5. Promedio y desviación estándar del área foliar específica (cm ² xg) de tres especies arbóreas.	28
6. Promedio y desviación estándar del área foliar (cm ²) de tres especies arbóreas.	30
7. Promedio y desviación estándar del largo de las hojas (cm) de tres especies arbóreas.	32
8. Promedio y desviación estándar del ancho de las hojas (cm) de tres especies arbóreas.	34
9. Promedio y desviación estándar del contenido de carbono foliar (%) de tres especies arbóreas.	36
10. Promedio y desviación estándar del contenido de nitrógeno foliar (%) de tres especies arbóreas.	39
11. Promedio y desviación estándar del contenido de fósforo foliar (%) de tres especies arbóreas.	41
12. Constancia de verificación de las especies arbóreas.	59
13. Reporte del contenido de carbono, nitrógeno y fósforo en las hojas de tres especies arbóreas.	60
14. Ubicación del área de investigación.....	61
15. Redimensionamiento de la parcela permanente de muestreo.....	61
16. Determinación de las coordenadas de la especie arbórea.....	62
17. Colecta de las muestras de hojas de las especies arbóreas.....	62
18. Acondicionamiento de las muestras de hojas colectadas.....	63
19. Muestras de hojas rotuladas de las especies arbóreas en el laboratorio.	63
20. Evaluación de las hojas rotuladas de las especies arbóreas en el laboratorio.	64

21.	Determinación del área foliar de las hojas de las especies arbóreas en el laboratorio.	64
22.	Medición del área foliar en el laboratorio.	65
23.	Determinación de la longitud de las hojas de las especies arbóreas en el laboratorio.	65
24.	Pesaje de hojas frescas en la balanza de precisión.	66
25.	Pesaje de hojas secas en la balanza de precisión.	66

RESUMEN

El estudio presentó como objetivo evaluar los caracteres funcionales foliares y composición química orgánica de tres especies arbóreas de un bosque de selva alta de Tingo María, Huánuco, Perú. Se eligió a *Senefeldera inclinata*, *Pourouma minor* y *Dacryodes nitens* que son abundantes en la PPM 4 del BRUNAS del distrito Rupa Rupa en la región Huánuco; se colectaron ramas expuestas a la luz de cinco individuos por especie que se analizó su materia seca (MS), área foliar específica (AFE), área foliar (AF), largo (L), ancho (A), carbono (C), nitrógeno (N) y fósforo (P). Como resultados *D. nitens* presentó 4,59% de MS, 142,34 cm²/g de AFE, 277,59 cm² de AF, 29,62 cm de largo, 12,05 cm de ancho, 38,97% de C, 2,91% de N y 0,10% de P; *P. minor* registró 4,06% en MS, 129,06 cm²/g del AFE, 213,92 cm² del AF, 27,06 cm del largo, 10,72 cm del ancho, 37,19% de C, 2,91% de N y 0,10% de P; *S. inclinata* registró 3,04% de MS, 139,48 cm²/g de AFE, 181,69 cm² del AF, 26,53 cm del largo y 10,25 cm del ancho de las hojas, 39,63% de C, 3,43% de N y 0,11% de P; además se correlacionó negativamente el peso fresco con P en las hojas de *D. nitens* (p-valor: 0,0455). Se concluye que, los caracteres funcionales y químicos foliares evidencian estrategias contrastantes donde *D. nitens* prioriza su estructura (mayor AF y MS), mientras *S. inclinata* destaca en C y N, sugiriendo adaptaciones a medios como la selva alta.

Palabras clave: Área foliar, correlación *Dacryodes nitens*, *Pourouma minor*, *Senefeldera inclinata*.

ABSTRACT

The objective presented in the study was to evaluate the functional foliar characters and the organic chemical composition of three tree species from a forest in the high jungle of Tingo Maria, Huánuco, Peru. *Senefeldera inclinata*, *Pourouma minor* and *Dacryodes nitens* were chosen, which are abundant on PPM 4 in the BRUNAS (acronym in Spanish), in the Rupa Rupa district of the Huánuco region; branches exposed to light were collected from five specimens per specie, of which, their dry matter (MS), specific foliar area (AFE), foliar area (AF), length (L), width (A), carbon (C), nitrogen (N), and phosphorous (P) were analyzed. For the results, *D. nitens* presented an MS of 4.59%, 142.34 cm²/g of AFE, an AF of 277.59 cm², a length of 29.62 cm, a width of 12.05 cm, 38.97% of C, 2.91% of N, and 0.10% of P; *P. minor* presented an MS of 4.06%, 129.06 cm²/g for the AFE, 213.92 cm² for the AF, 27.06 cm for the length, 10.72 cm for the width, 37.19% of C, 2.91% of N, and 0.10% of P; [and] *S. inclinata* presented an MS of 3.04%, 139.48 cm²/g of AFE, 181.69 cm² for the AF, 26.53 cm for the length and 10.25 cm for the width of the leaves, 39.63% of C, 3.43% of N, and 0.11% of P; moreover, the fresh weight was negatively correlated with P in the leaves from *D. nitens* (p-value: 0.0455). It was concluded that the functional characters and the foliar chemistries evidenced contrasting strategies, where *D. nitens* prioritized its structure (greater AF and MS), while *S. inclinata* stood out in C and N, suggesting adaptations to environments, such as the high jungle.

Keywords: foliar area, *Dacryodes nitens* correlation, *Pourouma minor*, *Senefeldera inclinata*

I. INTRODUCCIÓN

Con la evolución de las sociedades agrarias fue aumentando progresivamente la pérdida y presión sobre el bosque, aprovechándolo como principal fuente de combustible y material de construcción, alimentos, medicinas y otros productos. En general el mundo rural pre - industrial mantuvo una estrecha relación con el bosque como parte de un modelo integrado agrosilvopastoril, tal es así, que esta visión inicial integrada y multifuncional del bosque da paso a una visión segregada, que valoriza sólo cierta producción económica (madera) y contempla al bosque como un proveedor de recursos que permitan una industrialización y desarrollo (Sayer et al., 1997).

El territorio peruano es megadiverso, con una alta variedad de climas y mayor extensión de bosques naturales, cuya pérdida anual es generada por la agricultura migratoria, tala y minería ilegal, cultivos agroindustriales, etc. De acuerdo con la base de datos de Geo bosques, en los últimos 20 años (2001 al 2020), en el distrito Rupa Rupa se registró una pérdida de bosque de 3 243,97 ha, con un promedio de 162,15 ha/año, provocando la extinción de especies vegetales y animales; a su vez, alterando drásticamente las funciones ecológicas del bosque y el rol de los rasgos funcionales de la vegetación, razones por lo que genera especial atención los estudios del funcionamiento de los servicios ecosistémicos de uso directo e indirecto que la sociedad se beneficia, la regulación hídrica en cuencas hidrográficas, mantenimiento de la biodiversidad, secuestro de carbono, paisajismo, formación de suelos, provisión de recursos genéticos (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2021).

Los ecosistemas de bosques de selva alta son clave para la regulación ambiental y el mantenimiento de la biodiversidad. Sin embargo, la falta de información detallada sobre los caracteres funcionales foliares y la composición química de las especies arbóreas limita el entendimiento de sus roles ecológicos y funcionales. Estos caracteres están directamente relacionados con procesos como el ciclo de nutrientes, la productividad primaria y la captura de carbono, aspectos fundamentales para el manejo sostenible de estos bosques. En Tingo María, Huánuco, Perú, existe una gran diversidad de especies arbóreas, pero el conocimiento sobre su fisiología foliar y química orgánica sigue siendo insuficiente, lo que dificulta la toma de decisiones para su conservación y aprovechamiento sostenible. Además, la presión antropogénica, como la deforestación y la agricultura extensiva, amenaza estos ecosistemas, subrayando la necesidad de comprender mejor las adaptaciones funcionales de las especies arbóreas locales generando interrogantes como ¿Cuáles son los caracteres funcionales foliares

y composición química orgánica de tres especies arbóreas de un bosque de selva alta de Tingo María, Huánuco, Perú?

Este estudio es relevante porque proporciona datos fundamentales sobre los caracteres funcionales foliares y la composición química de tres especies arbóreas representativas de la selva alta. Estos datos son esenciales para comprender las estrategias ecológicas y funcionales de estas especies, así como su papel en los ciclos biogeoquímicos. Los resultados podrán contribuir al diseño de estrategias de manejo forestal sostenible, conservación de los recursos forestales y mitigación del cambio climático. Además, este conocimiento científico permitirá ampliar las bases de datos regionales y globales sobre ecología funcional, facilitando comparaciones entre ecosistemas y la generación de políticas públicas fundamentadas para la conservación de la biodiversidad en la región de Tingo María y áreas similares. La investigación plantea los siguientes objetivos:

Objetivo general

Evaluar los caracteres funcionales foliares y composición química orgánica de tres especies arbóreas de un bosque de selva alta de Tingo María, Huánuco, Perú.

Objetivos específicos

- Determinar los caracteres funcionales foliares: área foliar, área foliar específica, largo y longitud de hoja, y porcentaje de materia seca de tres especies arbóreas de un bosque de selva alta de Tingo María, Huánuco, Perú.
- Determinar la composición química orgánica: carbono (C), nitrógeno (N) y fósforo (P) de tres especies arbóreas de un bosque de selva alta de Tingo María, Huánuco, Perú.
- Correlacionar la composición química orgánica y los caracteres funcionales foliares de tres especies arbóreas de un bosque de selva alta de Tingo María, Huánuco, Perú.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. Grupos funcionales

Un grupo funcional se define como un conjunto de especies que poseen un funcionamiento similar a nivel del organismo, generan efectos comparables en un proceso específico del ecosistema o muestran respuestas análogas frente a las condiciones ambientales, lo cual generalmente se refleja en valores similares de sus rasgos funcionales. En este contexto, los atributos funcionales actúan como indicadores clave del funcionamiento de los ecosistemas, ya que representan características esenciales de las especies que facilitan el equilibrio entre la adquisición y el procesamiento de recursos (Leps et al., 2006).

2.1.2. Rasgos funcionales

Los rasgos funcionales son características morfológicas, fisiológicas o fenológicas de las plantas que resultan esenciales para comprender y explicar su interacción con el entorno. Estos rasgos reflejan distintos aspectos de las estrategias de vida de las plantas y son producto tanto de la inercia filogenética como de la selección natural del ambiente (Felsenstein, 1985). Los estudios sobre grupos funcionales suelen centrarse en atributos de las hojas, como el área foliar, el área foliar específica y el contenido de materia seca en las hojas (Wright et al., 2004). En años recientes, se han incorporado otros rasgos como la densidad de la madera, que está estrechamente relacionada con la supervivencia y el crecimiento de las plantas (Chave et al., 2009). Además, ciertos rasgos hidráulicos del tallo, como la densidad y el diámetro de los vasos, tienen implicaciones importantes en la regulación hídrica de las plantas (Reich, 2014), lo que permite una comprensión más profunda de las relaciones de compromiso en las estrategias de las plantas (Díaz et al., 2016).

2.1.2.1. Características generales de *Dacryodes nitens*

En base a La Flora del Mundo Online, en América del Sur su distribución nativa se registra en Brasil, Guayana Francesa, Guyana, Suriname, Venezuela, Colombia y Perú (The World Flora Online [WFO], 2025).

Se describe la siguiente clasificación (WFO, 2025):

División	: Plantae
Filo	: Streptophyta
Clase	: Equisetopsida
Subclase	: Magnoliidae

Orden	: Sapindales Juss. ex Bercht. & J. Presl
Familia	: Burseraceae Kunth
Género	: <i>Dacryodes</i> Vahl
Especie	: <i>nitens</i>
Nombre científico	: <i>Dacryodes nitens</i> Cuatrec.

Brako y Zarucchi (1993) determinaron que esta especie suelen encontrarse en los ecosistemas boscosos de la Amazonía de la región Loreto comprendida en el gradiente altitudinal de 0 a 500 m s. n. m. Por su parte, Ayala (2003) indica al género *Dacryodes* que suele reunir cerca de 55 especies en el trópico, dentro de ellos abarca a 22 distribuidos en el Neotrópico; cuatro especies fueron registrados en la Amazonía del Perú, se localizan en tierras firmes, bosques primarios, casualmente en planicies inundables estacionales: *Dacryodes kukachkana*, *Dacryodes chimantensis*, *D. nitens*, *Dacryodes peruviana* var. *Peruviana*.

El segundo autor adiciona sobre este género que suele comprender árboles por lo general de tamaño pequeño a mediano, dioico; con hoja persistente, imparipinnada; foliolo entero, peciolulado, subcoriáceo o coriáceo; inflorescencia paniculads; flor pequeña, trímera, unisexual, coloración verde-amarillento, el fruto es de tipo drupa indehiscente.

En la PPM IV del bosque reservado UNAS en Tingo María, Lago (2019) encontró individuos que registraban una altura total cercana a los 40 m, y en el caso del diámetro, se registró a individuos que contenían valores alrededor de los 90 cm de DAP.

2.1.2.2. Características generales de *Pourouma minor*

Esta especie prosigue la clasificación siguiente:

División	: Plantae
Clase	: Magnoliopsida
Orden	: Rosales
Familia	: Urticaceae
Género	: <i>Pourouma</i> Aubl.
Especie	: <i>minor</i>
Nombre científico	: <i>Pourouma minor</i> Benoist

Árbol dioico de subdosel o dosel (20-30 m) con hojas simples y alternas (13-21 x 7-10 cm), con haz glabro y envés pubescente. Inflorescencia masculina y femenina en panícula, con pedúnculo pubérulo; flor inconspicua. Fruto drupa ovoide en punta

(Pérez et al., 2014). Presenta hoja simple, alterna y suelen disponerse en espiral, se agrupan en el extremo de la rama terminal, la lámina de la hoja es elíptica a ovada, entera, la parte apical de la lámina es acuminado, la parte basal es aguda, la hoja está cubierta de pubescencia sedosa en el lado del envés específicamente en cada nervio secundario (Ríos, 2008). En la PPM IV del bosque reservado UNAS en Tingo María, Lago (2019) registró que la mayoría de los datos presentaban una altura total inferior a los 22 m y en el caso del diámetro, se registró a individuos que oscilaban alrededor de los 55 cm de DAP.

2.1.2.3. Características generales de *Senefeldera inclinata*

Esta especie prosigue la clasificación siguiente:

División	: Plantae
Clase	: Magnolipsida
Orden	: Malpighiales
Familia	: Euphorbiaceae Juss.
Género	: <i>Senefeldera</i>
Especie	: <i>inclinata</i>
Nombre científico	: <i>Senefeldera inclinata</i> Müll.Arg.

Esta especie se caracteriza por presentar hoja elíptica de longitud entre 15,2 cm hasta 25,0 cm y un ancho desde 5,0 a 9,0 cm, la parte apical es caudado, la parte basal es obtusa hacia aguda, siendo glabra la parte del haz presentando baja cantidad de pelos simples, presenta glándulas en la parte basal en ocasiones en la parte céntrica y ápice de la hoja; el pecíolo mide entre 2,0 a 5,5 cm con un ensanchamiento en los extremos glabros o con escaso pelo simple, posee entre 12 a 16 pares de nervios secundarios y en el caso de los nervios terciarios son reticulados (Ríos, 2008).

En la PPM IV del bosque reservado UNAS en Tingo María, Lago (2019) encontró que la mayoría de los datos registraban una altura total inferior a los 25 m, sobrepasando solamente dicho valor dos individuos y en el caso del diámetro, solamente se registró a dos individuos que sobrepasaron los 30 cm de DAP.

2.1.3. Ecología funcional

El enfoque tradicional para medir la biodiversidad ha facilitado la caracterización de los patrones de distribución espacial y temporal de las especies (Magurran, 1988), permitiendo comparar el estado de la biodiversidad en distintas escalas y respaldar la definición de prioridades de conservación, entre otros aspectos. No obstante, este enfoque excluye la diferenciación morfológica y fisiológica que define las estrategias de vida de las

plantas (Hooper et al., 2005), lo que representa una importante limitación para comprender y explicar diversos procesos ecológicos (Cornelissen et al., 2003).

Frente a la elevada tasa de degradación ambiental y los efectos del cambio climático en los ecosistemas, resulta fundamental comprender el funcionamiento de los bosques y su influencia en los bienes y servicios que proporcionan. En respuesta a esta necesidad, la ecología funcional se presenta como una herramienta para simplificar la complejidad florística y entender cómo responde la vegetación a las variables ambientales (Maharjan et al., 2011). Este enfoque aborda el componente de la biodiversidad que impacta la dinámica y el funcionamiento de los ecosistemas (Tilman, 2001), desarrollando principios y herramientas que conectan las características de las comunidades con sus funciones y servicios ecosistémicos (Cornelissen et al., 2003). La ecología funcional se fundamenta en rasgos morfológicos, fisiológicos o fenológicos, medibles en un organismo, que están asociados a efectos sobre uno o más procesos ecológicos o a respuestas frente a factores ambientales (Martín-López et al., 2007). Utilizando protocolos estandarizados, se evalúan rasgos como el contenido de materia seca en hojas o la densidad de la madera, características vinculadas con la inversión de carbono que reflejan compromisos comunes relacionados con los costos de construcción (Cornelissen et al., 2003; Díaz y Cabido, 1999; Swenson y Enquist, 2007).

Las propiedades funcionales de una comunidad pueden evaluarse mediante la diversidad en los valores y rangos de los rasgos funcionales de las plantas, así como por su composición basada en tipos funcionales y sus abundancias relativas (Díaz y Cabido, 1997). Sin embargo, persisten dudas sobre cómo varía la composición funcional ante cambios en las condiciones ambientales (Fajardo y Piper, 2010). Aunque la medición de rasgos funcionales ha aumentado en la última década (Petchev y Gaston, 2006), el conocimiento sobre su variación espacial sigue siendo limitado, lo que dificulta comprender la influencia de los factores ambientales y la distancia geográfica en la variación funcional de las comunidades. Swenson et al. (2011) identificaron un marcado patrón de disminución en la similitud funcional de las comunidades con el incremento en la altitud, lo que representa un análisis inicial de diversidad beta en comunidades arbóreas tropicales y sugiere un modelo determinista de ensamblaje y recambio.

2.1.4. Caracteres foliares en relación con los rasgos funcionales

Se ha determinado que ciertos rasgos funcionales, como el área específica, la longitud y el ancho de las hojas, la asimilación neta y la relación de área foliar,

están estrechamente vinculados al crecimiento de las plantas y son indicadores efectivos para predecir las tasas máximas de crecimiento relativo (Antúnez et al., 2001).

2.1.4.1. Composición química foliar

La composición química de las hojas desempeña un papel fundamental en el crecimiento, la concentración de minerales y la defensa de las plantas, destacando la presencia de carbohidratos no estructurales (CNE), lignina (LIG) y compuestos fenólicos solubles (CFS) (Dietze et al., 2014). Según Niinemets et al. (2015), el fenómeno de "auto sombreadamiento" en las hojas del dosel de los árboles genera variaciones en la composición química de las hojas ubicadas en posiciones más bajas. Estas variaciones están asociadas, además, con los cambios observados en la morfología foliar (Poorter y Villar, 1997).

La composición química foliar varía considerablemente entre tipos funcionales extremos (Grime, 1979). Estos tipos funcionales están representados por plantas de crecimiento rápido, que maximizan la asignación de recursos a fotosíntesis, presentan baja palatabilidad para herbívoros generalistas y alta tasa de descomposición, y plantas de crecimiento lento, que maximizan la asignación de recursos a defensa y reservas y presentan baja palatabilidad y tasa de descomposición. La composición química foliar de las especies localmente más abundantes, en especial su relación carbono: nitrógeno y carbono: Fósforo. Es de importancia fundamental para los procesos comunitarios y ecosistémicos. Para varias floras del mundo se ha probado que la composición química de los tejidos vegetales está asociada positivamente con la capacidad de sustentar herbívoros (Bryant et al., 1983), con la tasa de descomposición de la broza (Cornelissen et al., 1996).

2.1.4.2. Materia seca de las hojas

La materia seca de las hojas desempeña un papel esencial en varios procesos ecológicos clave en los bosques tropicales, particularmente en el ciclo de nutrientes a través de la producción de hojarasca. La producción anual de hojarasca en bosques tropicales típicamente oscila entre 5 y 10 toneladas por hectárea, proporcionando materia orgánica y nutrientes esenciales al suelo. Este proceso sustenta las comunidades de descomponedores y mantiene la fertilidad del suelo, con la tasa de descomposición influenciada por las propiedades químicas y físicas de la hojarasca. Especies con alta producción de materia seca de hojas, como aquellas identificadas por Sánchez Fonseca et al. (2008), pueden tener un impacto desproporcionado en la dinámica de nutrientes (Sánchez Fonseca et al., 2008). Además, la materia seca de las hojas representa una componente significativa de la biomasa forestal, contribuyendo al almacenamiento de carbono.

Comprender su dinámica es crucial para modelar los ciclos de carbono y evaluar el papel de los bosques tropicales en la mitigación del cambio climático (Domínguez, 2021).

El cambio climático, particularmente las alteraciones en los patrones de precipitación y el aumento de las temperaturas, plantea desafíos significativos para los bosques tropicales, con impactos esperados en la producción de materia seca de las hojas. El incremento en la frecuencia y severidad de las sequías puede reducir la producción de hojas o inducir cambios adaptativos en sus rasgos. Por ejemplo, en un estudio sobre *Enterolobium cyclocarpum*, Rojas-Jimenez y Gutiérrez (2012) encontraron que las hojas jóvenes desempeñan un papel crítico en el mantenimiento del balance hídrico durante la estación seca, lo que sugiere que las adaptaciones fenológicas son esenciales para enfrentar la escasez de agua. Sin embargo, bajo condiciones de sequía más severas proyectadas por modelos climáticos, estas adaptaciones podrían ser insuficientes, lo que potencialmente conduciría a una reducción de la biomasa de hojas y afectaría la productividad y el almacenamiento de carbono del bosque (Rojas-Jimenez y Gutiérrez, 2012). Además, investigaciones indican que el cambio climático podría exacerbar los riesgos de sequía, afectando la estructura y el funcionamiento de los bosques tropicales, incluyendo las dinámicas de producción de hojas (Domínguez, 2021). La respuesta de la materia seca de las hojas a estos cambios probablemente variará entre especies y tipos de bosque, dependiendo de sus adaptaciones específicas y su resiliencia.

2.1.4.3. Largo y ancho de las hojas

El largo y ancho de las hojas son rasgos morfológicos fundamentales en las especies forestales tropicales, ya que determinan el área foliar, la capacidad de captación de luz y la adaptación a condiciones ambientales diversas. Estos parámetros varían ampliamente entre especies y reflejan estrategias ecológicas específicas, como la maximización de la fotosíntesis o la tolerancia al estrés hídrico (Wright et al., 2017). En bosques tropicales, caracterizados por alta biodiversidad y complejidad estructural, el análisis de estas dimensiones foliares proporciona información clave sobre la dinámica ecosistémica y la respuesta al cambio climático (Mace et al., 2012).

Un estudio en bosques húmedos de Panamá midió el largo y ancho de hojas de 52 especies, encontrando valores promedio de 15,2 cm y 7,8 cm, respectivamente, con ajustes alométricos para estimar el área foliar (Rozendaal et al., 2020).

En un gradiente de precipitación en la Amazonía, especies de bosques húmedos como *Inga edulis* presentaron hojas más largas (hasta 20 cm) y anchas (10 cm) en comparación con especies de bosques secos, como *Prosopis juliflora* (largo: 8 cm,

ancho: 3 cm), reflejando adaptaciones a la disponibilidad de agua (Aguirre-Gutiérrez et al., 2020). Asimismo, la altitud afecta estas dimensiones; en bosques montanos de Costa Rica, el largo foliar disminuyó de 18 cm a 12 cm con el aumento de la elevación, debido a temperaturas más bajas y mayor exposición al viento (Alvarado-Hernández et al., 2022). Las especies pioneras, como *Cecropia peltata*, tienden a tener hojas más grandes (largo: 25-30 cm) que las de sucesión tardía, optimizando la captura de luz en claros forestales (Poorter et al., 2019).

En bosques tropicales de México, especies expuestas a alta irradiación, como *Eucalyptus urophylla*, mostraron hojas más anchas (8-10 cm) para maximizar la fotosíntesis, mientras que, en condiciones de sombra, el largo foliar aumentó para compensar la menor intensidad lumínica (Hernández et al., 2021). La disponibilidad de nutrientes también juega un papel; suelos ricos en nitrógeno en la Amazonía ecuatoriana se asociaron con hojas más grandes (largo: 22 cm, ancho: 11 cm) en especies como *Vochysia ferruginea* (Cuesta et al., 2017). Además, la presión herbívora puede reducir el tamaño foliar como estrategia defensiva, un fenómeno observado en bosques secundarios de Colombia (Álvarez et al., 2012).

Hojas más grandes, comunes en especies de crecimiento rápido, aumentan la interceptación de luz y la productividad primaria, como se reportó en plantaciones de *Tectona grandis* en Brasil donde el largo fue 30 cm y el ancho 20 cm (Lima et al., 2022). Por otro lado, hojas más pequeñas y estrechas, como las de *Bursera simaruba* (largo: 10 cm, ancho: 4 cm), son adaptaciones al estrés hídrico en bosques secos, reduciendo la transpiración (Wright et al., 2017). Estos rasgos también son útiles en restauración ecológica; combinar especies con diferentes tamaños foliares puede optimizar la captura de recursos y la resiliencia del ecosistema (Mace et al., 2012).

2.1.4.4. Área foliar (AF)

El área foliar se refiere a la superficie ocupada por el haz y/o envés de las hojas en las plantas (Ruiz, 2015), lo que refleja su capacidad fotosintética debido a la relación directa que existe con el índice de área foliar (Kozlowski et al., 1991). Este indicador es fundamental para analizar la nutrición y el desarrollo de una planta, ya que permite estimar la biomasa seca acumulada, los procesos metabólicos de los carbohidratos, así como el rendimiento y la calidad de las cosechas (Ibarra, 1985).

La determinación del área foliar es esencial para analizar el crecimiento vegetal y constituye un aspecto clave en investigaciones relacionadas con la fisiología de las plantas (Sanoja, 1983). Por ello, es fundamental emplear métodos rápidos y

sencillos para su medición. La evaluación del área foliar es especialmente relevante en estudios fisiológicos, dendrológicos y agronómicos (Broadhead et al., 2003), ya que esta variable está asociada con numerosos procesos biológicos, agronómicos, fisiológicos y ambientales. Entre ellos se incluyen el análisis del crecimiento, la actividad fotosintética, la tasa de transpiración, la capacidad para interceptar la luz, la acumulación de biomasa y el balance energético (Kucharik et al., 1998). Profesionales como agrónomos, biólogos y fisiólogos destacan la importancia de conocer el área foliar para estimar el crecimiento vegetal, identificar las fases fenológicas, evaluar el rendimiento agronómico y biológico potencial, así como para calcular el uso eficiente de la radiación solar, el agua y la nutrición mineral (Sonnentag et al., 2008).

2.1.4.5. Área foliar específica (AFE)

El área foliar específica (AFE) se refiere al área de la hoja en relación con su unidad de masa (Ruiz, 2015). Este parámetro es fundamental para el crecimiento vegetal, ya que promueve cambios en la relación del área foliar y mejora la eficiencia fotosintética al optimizar el uso del nitrógeno (Bultynck et al., 1999). Durante el desarrollo de la planta, los niveles de nitrógeno tienden a disminuir, y este fenómeno está estrechamente relacionado con la acumulación de biomasa seca, lo que convierte al AFE en un indicador relevante en todas las etapas de crecimiento o edades de rebrotes (Lemaire et al., 1991).

El AFE también influye en el crecimiento al modificar la proporción del área foliar y la eficiencia fotosintética respecto al uso del nitrógeno (Bultynck et al., 1999). Según Pérez et al. (2004), este indicador refleja el espesor y la densidad de las hojas, además de ser utilizado para medir la foliosidad de las plantas en función de su biomasa. Por sus características, el AFE es considerado un indicador eficaz de la calidad vegetal, cuya medición es económica y sencilla.

2.1.5. Respuestas de las plantas a ambientes heterogéneos de luz y nutrientes

El aporte de nutrientes al suelo es un factor crítico que incide en la productividad y la composición de las especies. Por lo general, los sitios con alta fertilidad exhiben productividad mayor (Tilman, 1984). Para entornos con escasez de nutrientes, los vegetales suelen desarrollar adaptaciones pudiéndose realizar mediante una clasificación en tres líneas distintas (Berendse et al., 2007). Una primera línea implica maximizar que se adquieran los nutrientes mediante estrategias competitivas, como simbiosis con hongos micorrízicos o bacterias que fijan el nitrógeno, o aumentando la inversión en biomasa de la raíz fina y las longitudes de las raíces para explorar otras fuentes de recursos. La segunda

línea se relaciona con la eficiencia en la asimilación de nutrientes y su uso para el crecimiento. La tercera línea consiste en prolongar el período de disponibilidad de los nutrientes, incrementando la longevidad de cada hoja, raíz y demás órganos mediante la inversión en el tejido de soporte y cada compuesto defensivo contra herbívoros.

Cuando el suministro de recursos excede la demanda durante ciertos periodos, las especies de crecimiento lento pueden acumular nutrientes para su uso posterior, lo que les permite absorberlos durante períodos de escasez. Por tanto, el crecimiento de cada planta perenne no solamente depende de la adquisición de nutrientes, además de la capacidad de almacenamiento para su reutilización (Chapin et al., 1990). Los vegetales con altos requerimientos nutrimentales para que se reproduzcan suelen tener tasas de crecimientos más bajas, y su crecimiento puede verse afectado si una parte significativa de los recursos se destina al almacenamiento de reservas.

Cada macroelemento como el fósforo (P), nitrógeno (N) y potasio (K) es esencial en la vida de los vegetales participando en procesos metabólicos directa o indirectamente. La clasificación entre macronutrientes y micronutrientes puede resultar difícil desde una perspectiva fisiológica, como argumentan Taiz y Zeiger (2002), por lo que se propone una clasificación basada en su función bioquímica y fisiológica (Mengel y Kirkby, 1987). Estos elementos desempeñan roles fundamentales en el metabolismo y la regulación celular, como la síntesis de proteínas, la transferencia de energía y la regulación osmótica (Schulze et al., 2002).

Las distribuciones de las luces en un bosque varían considerablemente en el espacio y el tiempo, lo que conlleva una amplia gama de respuestas adaptativas en las hojas a diferentes escalas (Percy, 2007). La disponibilidad de luz está estrechamente relacionada con cada parámetro fotosintético y el crecimiento de las regeneraciones en varias especies, con crecimientos rápidos en ambientes de alta luminosidad en etapas tempranas de sucesión, en comparación con especies más tolerantes a la sombra, cuyo crecimiento es más lento.

2.1.6. Factores que afectan la distribución de especies

Los factores que influyen en la distribución de especies incluyen los límites de tolerancia fisiológica a diversos factores ambientales, como las temperaturas mínimas, las heladas o la intensidad de la luz (Hannah et al., 2005), así como la combinación de factores edáficos y climáticos, los cuales afectan de manera significativa la variación en la estructura del bosque a nivel de paisaje y la disponibilidad de recursos para las plantas (Toledo et al., 2010). La elevación, debido a la compleja interacción de condiciones ambientales, se considera un factor clave que influye indirectamente en la estructura,

composición y diversidad de las comunidades vegetales (Malhi et al., 2010). En términos generales, la cantidad de especies tiende a disminuir a medida que aumenta la altitud, aunque en algunas ocasiones la riqueza de especies es mayor a altitudes intermedias, probablemente debido a su carácter transicional (Lieberman et al., 1996).

Existen varias teorías que intentan explicar la alta diversidad en las regiones tropicales, y una de las hipótesis más conocidas es la idea de que los trópicos ofrecen múltiples nichos ecológicos gracias a la heterogeneidad ambiental (Montagnini y Jordan, 2005). Las características particulares de los bosques montañosos, tales como la variabilidad topográfica, la formación de nubes orográficas y la presencia de bosques nublados, favorecen una amplia variedad de microclimas, lo que los convierte en refugios para numerosas especies. Esto podría deberse a una mayor segmentación de nichos dentro de las montañas (Malhi et al., 2010).

La diversidad beta es un elemento fundamental para comprender cómo funcionan los ecosistemas tropicales y las razones detrás de su diversidad (Condit et al., 2002). Se refiere a los cambios en la composición de especies con la distancia, lo que puede reflejar procesos determinísticos, como la adaptación de especies a diferentes climas o sustratos, o ser consecuencia de limitaciones en la dispersión (Condit et al., 2005). Aunque no se puede cuestionar el impacto de la heterogeneidad ambiental y la diferenciación de nichos en la diversidad alfa y beta de los ecosistemas montañosos, en los últimos 15 años ha aumentado la investigación que subraya la relevancia de procesos conocidos como ensamblaje por limitación en la dispersión (Hubbell, 2005), los cuales son considerados por Tuomisto et al. (2003) como impulsores de la composición florística a nivel paisajístico. En la Amazonía peruana, el 95% de los árboles y palmas jóvenes en el sotobosque provienen de semillas dispersadas por animales (Terborgh et al., 2002), lo que sugiere que la limitación en la dispersión reduce la posibilidad de que las semillas lleguen a sitios seguros y alejados de los árboles parentales (Schupp et al., 2002).

Según la teoría neutral propuesta por Hubbell (2005), si las especies arbóreas presentan competitividad similar, sus abundancias relativas estarán determinadas por la limitación de dispersión y el azar, y además sugiere que la similitud en la composición disminuye de manera monótona con la distancia. Este concepto es similar a los hallazgos de Condit et al. (2002) en los bosques del centro de Panamá y la Amazonía Occidental, donde se observaron diferencias significativas en la diversidad beta, argumentando que el patrón de recambio en la composición de especies arbóreas no puede explicarse únicamente por limitación en la dispersión y especiación. En diferentes escalas, es necesario considerar la

estructura del hábitat (heterogeneidad del hábitat a escala local) y evaluar el impacto de especies con amplia distribución. Finalmente, se plantea que la teoría de dispersión solo es aplicable en áreas pequeñas y homogéneas, aunque Terborgh et al. (2002) reportaron continuidad en la composición del bosque a gran escala utilizando imágenes de Landsat en la Amazonía.

2.2. Estado del arte

López (2022) en un estudio de rasgos funcionales de los tallos y hojas de las especies que presentan diámetros de la base igual o superior a los 5 cm en ocho parcelas permanentes que poseen plantas arbustivas sucesionales ubicados dentro de la Cordillera Oriental colombiana, determinó que, la mayor parte de las 45 especies que se registraron presentaban pequeñas hojas, áreas foliares específicas bajas, asimilaciones fotosintéticas máximas bajas y alturas máximas bajas; las densidades de las maderas de mayor frecuencia estaban centradas en la mediana de la distribución. Los rasgos foliares no se correlacionaron a las densidades de las maderas o las alturas máximas. Hubo nueve especies con rasgo adquisitivo, alta área foliar específica, de alta tasa de asimilación fotosintética máxima, baja densidad de madera y bajo contenido foliar de materia seca. Contrariamente, hay 36 especies de rasgo conservativo que muestran altos contenido foliar de materia seca, bajas tasas de asimilación fotosintética máxima, densidad de madera media y bajas áreas foliares específicas.

Guzmán (2020) en un estudio vinculado a la relación del daño de las hojas con cada rasgo funcional foliar en especies con estrategias adquisitivas, intermedias y conservativas de los bosques de Torca, en Bogotá, reportó entre 2 y 4 % de la superficie foliar dañada en un tercio de las especies (5 de 15), entre el 4 y el 10% de la superficie dañada se observó en cerca de la mitad de las especies (7 de 15) y solamente 0 al 2% de daño foliar muy bajo se encontró en tres especies. Determinó que la densidad de la hoja se relaciona inversamente al daño foliar, pero, no hubo relación del daño con los rasgos restantes. Cada variable no cuantificada como el bajo nivel de herbivoría, estacionalidad del clima, posición de la hoja en el dosel o el componente químico de la hoja, pueden presentar importancia cuando se establecen la relación de rasgos con los daños. Respecto a la relación de cada rasgo foliar entre ellos, cada resultado muestra que el espectro de economía con los rasgos es consistente con las demás investigaciones.

Zelada y Reynel (2019) en una investigación para estimar tres rasgos funcionales en dos especies de árboles observadas en un nivel altitudinal dentro de la Reserva Comunal El Sira, reportaron que, cada rasgo funcional como área foliar, densidad básica y

área foliar específica llegaron a mostrar variaciones respecto a cada nivel de altitud. Este resultado suele representar un primer acercamiento para que se traten argumentos ecológicos que se relacionen a cierto rasgo funcional de las especies arbóreas en niveles altitudinales del país.

Ciciarelli et al. (2017) en un estudio respecto a los caracteres de las hojas de 10 especies del neotrópico en Argentina del género *Canna* (Cannaceae, Zingiberales), registraron que, en su hábitat natural, cada especie de *Canna* suele crecer como elemento anfibio o terrestre y en este caso en suelo húmedo a muy húmedo, en selva lluviosa, zona de humedal o selva en galería. Tanto *Canna fuchsina* y *C. glauca* son anfibia, de manera ocasional pueden adaptarse como palustres facultativos o anfibia y llegan a tolerar elevada exposición a los rayos del Sol en lugares con climas templados húmedos. *C. tandilensis*, *C. ascendens*, *C. variegatifolia* y *C. lineata* se encuentran de manera frecuente en humedal, en suelo moderadamente encharcado; como cada anfibia, toleran a la exposición de la luz del Sol. Sus hábitats de *C. paniculata*, *C. coccinea* y *C. compacta* es la selva lluviosa baja o de altura, suelen crecer bajo sombra, aunque se adaptan como elemento terrestre higrófilo en el borde de selva o medio subselvático. En dicho grupo suele incluirse a *C. indica*, posiblemente la más ubicua respecto a su exigencia ecológica, debido a su posibilidad de adaptación para que viva como mesófito en lugares con climas templados húmedos, no obstante, siempre requieren del suelo húmedo, bien drenado.

Pérez et al. (2012) en una investigación sobre las tasas de crecimientos, áreas foliares específicas (AFE) y el valor porcentual del nitrógeno en la hoja de *Brachiaria ruziziensis* x *B. brizantha* al ser establecido en Veracruz, México, registraron que, el NTH se correlaciona positivamente al AFE, pero negativamente a las alturas de las plantas. El resultado de este estudio sugiere que cuando hay incrementos de las áreas foliares específicas, suelen aumentar los valores porcentuales del nitrógeno en las hojas y éstos suelen disminuir acordes a que las plantas van madurando, en el caso de las alturas de las plantas suelen presentar correlaciones negativas respecto al valor porcentual del nitrógeno en las hojas.

Calvo et al. (2005) en una investigación respecto al índice del área foliar (LAI) para poblaciones naturales y repoblaciones de *Betula celtiberica* (abedul) en Galicia, España, registraron datos desde 0,5 hasta 4,7, donde el promedio fue 2,6, dicho resultado fue comparable a las demás especies de abedules existentes en América y Europa. No se correlacionó el LAI respecto a ciertos parámetros boscosos (diámetro, densidad, calidad de estación, área basal, regeneración o biomasa), pero fue notorio que cuando es mayor el valor del LAI solía corresponder a un área basal superior y poca presencia de la regeneración. Se

observó mayores correlaciones con el tipo de ecosistemas boscosas (montes altos y montes bajos).

Vendramini (2000) en un estudio enfocado en que se relacionen los compuestos químicos foliares así como ciertos caracteres de las hojas respecto a los tipos funcionales de los vegetales dominantes en un gradiente climático del centro-oeste del Argentina, encontró que el contenido foliar de "C" en las 55 especies de plantas seleccionadas a lo largo de dicho gradiente registró variaciones entre 31,2 y 4,0 %, el contenido foliar de N varió entre 0,52 y 4,33% y el contenido foliar de P varió entre 0,3 y 0,4 %. La relación C:N varió entre ,7 y 94,5. Se detectaron diferencias en el contenido de C, el contenido de N y la relación C:N entre las 25 familias de plantas analizadas. Dado el bajo número de especies en algunas familias no fue posible aplicar pruebas de significación estadística a dichas diferencias. No obstante, el contenido promedio de C fue mayor en Buddlejaceae. El de N en Fabaceae y la relación C:N en Bronneliaceae. No se detectaron diferencias aparentes entre familias en cuando a contenido de P, relación C:P v relación N:P . Debido a que muchas especies de Fabaceae son fijadoras de N, por lo que tienden a poseer una mayor relación N:P, se realizó un análisis comparando las especies de esta familia contra el resto de las especies en la base de datos. Las diferencias resultaron significativas ($p < 0,05$; test de Kruskal-Watlis: (Di Rienzo et al., 1999).

Asner y Martín (2015) informan sobre la elevación y la dependencia del tipo de suelo de la química del dosel forestal entre 75 bosques distintos desde el punto de vista composicional y ambiental en nueve regiones, con un total de 7819 árboles individuales que representan 3246 especies recolectadas, identificadas y analizadas para rasgos foliares. Evaluamos si existen relaciones consistentes entre los rasgos químicos del dosel y la elevación y el tipo de suelo, y evaluamos el papel general de la filogenia en la mediación de los patrones de los rasgos del dosel dentro y entre las comunidades. La variación de los rasgos químicos y la partición sugirieron un modelo general basado en cuatro hallazgos interconectados. En primer lugar, la variación geográfica a nivel del orden del suelo, que expresa amplios cambios en la fertilidad, sustenta cambios importantes en el fósforo foliar (P) y el calcio (Ca). En segundo lugar, los cambios dependientes de la elevación en la masa seca promedio de hojas de la comunidad por área (LMA), la clorofila y la asignación de carbono (incluidos los carbohidratos no estructurales) están más fuertemente correlacionados con los cambios en el Ca foliar. En tercer lugar, la diversidad química dentro de las comunidades está impulsada por las diferencias entre especies más que por la plasticidad dentro de las especies. Finalmente, los cambios dependientes de la elevación y el suelo en la asignación de N, LMA y carbono foliar están mediados por la renovación de la composición del dosel, mientras que

el P y el Ca foliares son impulsados más por cambios en las condiciones del sitio que por la filogenia. Nuestros hallazgos tienen amplias implicaciones para la comprensión de la ecología global de los bosques tropicales húmedos y sus respuestas funcionales al cambio climático.

Reich et al. (1998) estudiaron sobre la base de la evidencia previa de un escalamiento coordinado de múltiples rasgos foliares, plantearon la hipótesis de que la variación entre especies en la tasa de respiración oscura de las hojas ($R(d)$) debería escalar con la variación en rasgos como el nitrógeno (N) de las hojas, la vida útil de las hojas, el área foliar específica (SLA) y la capacidad fotosintética neta ($A(max)$). Sin embargo, no se sabe si tal escalamiento, si existe, es similar entre biomas dispares y tipos funcionales de plantas. Probamos esta idea examinando las relaciones interespecíficas entre $R(d)$ medida a una temperatura estándar y la vida útil de las hojas, N, SLA y $A(max)$ para 69 especies de cuatro grupos funcionales (hierbas, árboles y arbustos de hoja ancha y coníferas de hojas de aguja) en seis biomas que atraviesan las Américas: tundra alpina/bosque subalpino, Colorado; bosques/pastizales de clima templado frío, Wisconsin; bosque templado fresco, Carolina del Norte; desierto/matorrales, Nuevo México; bosque subtropical, Carolina del Sur; y selva tropical tropical, Amazonas, Venezuela. La $R(d)$ basada en el área se relacionó positivamente con el N foliar basado en el área dentro de los grupos funcionales y para todas las especies agrupadas, pero no cuando se comparó entre especies dentro de cualquier sitio. En todos los sitios, la $R(d)$ basada en la masa ($R(d)$ -masa) disminuyó drásticamente con el aumento de la vida útil de las hojas y se relacionó positivamente con el SLA y el $A(max)$ y el N de las hojas (N (masa) de las hojas). Estas relaciones intra-bioma fueron similares en forma y pendiente entre los sitios, donde en cada caso comparamos especies pertenecientes a diferentes grupos funcionales de plantas. Se observaron relaciones significativas entre $R(d)$ -masa-N (masa) en todos los grupos funcionales (agrupados en todos los sitios), pero las relaciones difirieron, con una $R(d)$ más alta en cualquier N foliar dado en grupos funcionales (como las hierbas) con mayor SLA y menor vida útil de la hoja. Independientemente del bioma o grupo funcional, la $R(d)$ -masa fue bien predicha por todas las combinaciones de vida útil de las hojas, N(masa) y/o SLA ($r^2 \leq 0,79$, $P < 0,0001$). En cualquier SLA dado, la $R(d)$ -masa aumenta con el aumento de N(masa) y/o la disminución de la vida útil de las hojas; y a cualquier nivel de N(masa), $R(d)$ -masa aumenta con el aumento del SLA y/o la disminución de la vida útil de las hojas. Las relaciones entre $R(d)$ y los rasgos de las hojas observadas en este estudio apoyan la idea de un conjunto global de interrelaciones predecibles entre los rasgos morfológicos, químicos y metabólicos clave de las hojas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

3.1.1. Ubicación geográfica

La presente investigación se ejecutó en la Parcela Permanente de Medición (PPM) N° 4, cuya dimensión es de 100 x 100 m (Tabla 1 y Figura 1); ubicado en el Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS).

Tabla 1. Coordenadas de la PPM N° 4

Código de la parcela	Coordenadas UTM		Altitud (m)
	Este	Norte	
PPM 4	391540	8970335	860,00

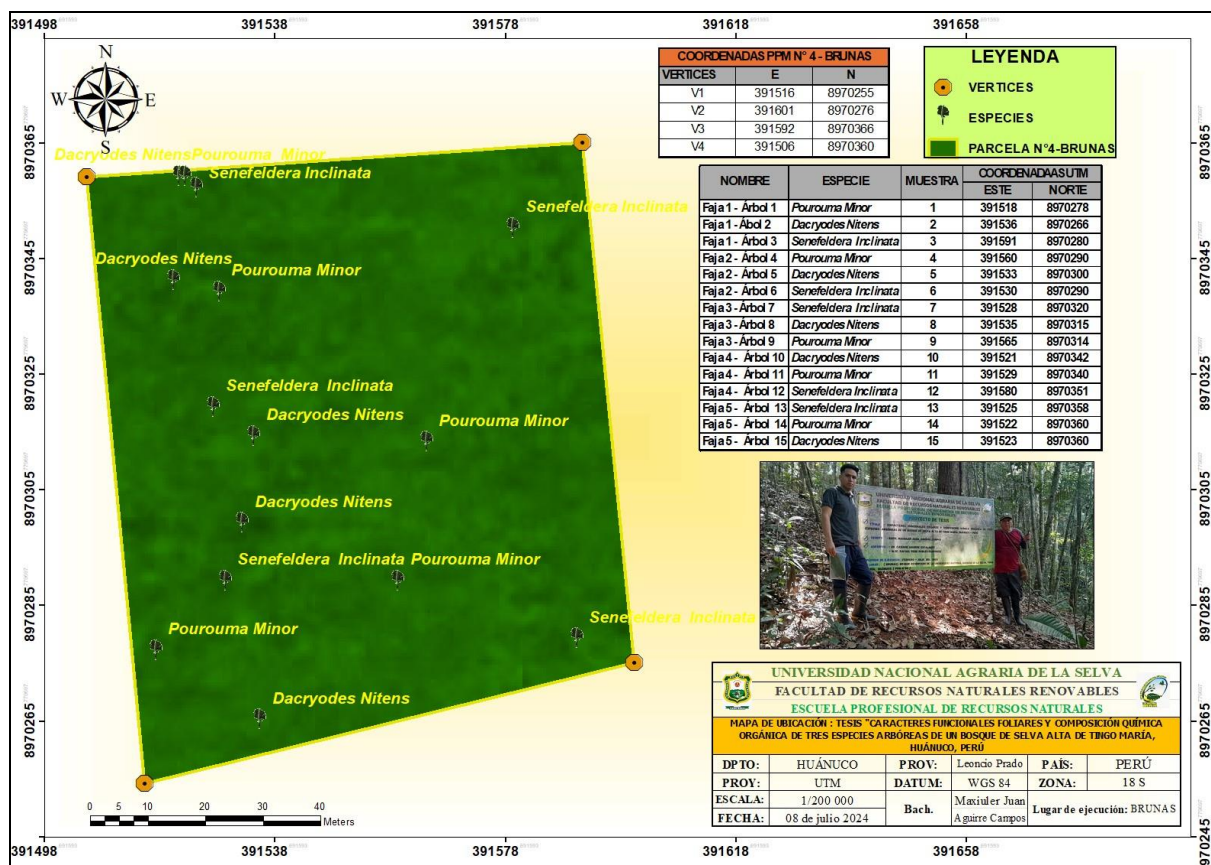


Figura 1. Dispersión de las especies forestales dentro de la PPM IV.

3.1.2. Ubicación política

Políticamente localizado en el distrito Rupa Rupa; provincia Leoncio Prado del departamento de Huánuco.

3.1.3. Características climáticas

El clima de la zona se caracteriza por reportar valores acumulados de 3019,8 mm en precipitación anual, 82,5 % de humedad relativa y 25,7 °C de temperatura media anual (UNAS, 2017). Además, el BRUNAS pertenece a la zona de vida denominada Bosque muy húmedo Pre-montano Tropical (Holdridge, 1987) y a la región natural de Rupa Rupa o Selva Alta (Pulgar, 1987).

3.2. Material y métodos

3.2.1. Materiales y equipos

Entre los materiales de campo que se utilizaron en el presente estudio se tiene a la cinta de agua, prensa, tijera telescópica, subidores, periódicos usados, pintura esmalte, brocha, clavos de acero, martillo, escalera de madera, bolsas de polietileno, cajas de cartón, tijeras. Entre los equipos de campo se va a considerar el uso de la cámara fotográfica, GPS, brújula y computador portátil.

Como materiales de laboratorio se utilizaron la balanza, regla, espátula, pinzas, container, medidor de área foliar.

Los equipos de laboratorio que se utilizaron fueron la estufa de deshidratación, ICP Masas, Digestor de muestras y analizador elemental. Respecto a los reactivos del laboratorio, se contó con los gases (Helio y oxígeno), vanadio, alcohol y ácido clorhídrico.

3.2.2. Metodología

3.2.2.1. Determinación de los caracteres funcionales foliares: área foliar, área foliar específica, largo y longitud de hoja, y porcentaje de materia seca de tres especies arbóreas

Como primera actividad se realizó la respectiva recopilación de información concerniente a la publicación de la tesis elaborada por Diaz (2018); específicamente se escogió a la parcela permanente número cuatro (PPM IV) que se localizaba en el BRUNAS.

Posteriormente se consideró la lista de las especies que se caracterizaban por su mayor abundancia (**Tabla 2**) delimitada por cada bloque, tomando en consideración el Índice de valor de importancia (IVI). El material vegetal fue la hoja más adulta y se consideró tres especies por cada faja. Como características del estudio a ejecutarse se constituyó con las siguientes (**Tabla 3**):

- Cinco bloques
- Tres especies

- Un individuo por especie/bloque
- Tamaño de muestra será de un tamaño de 15.

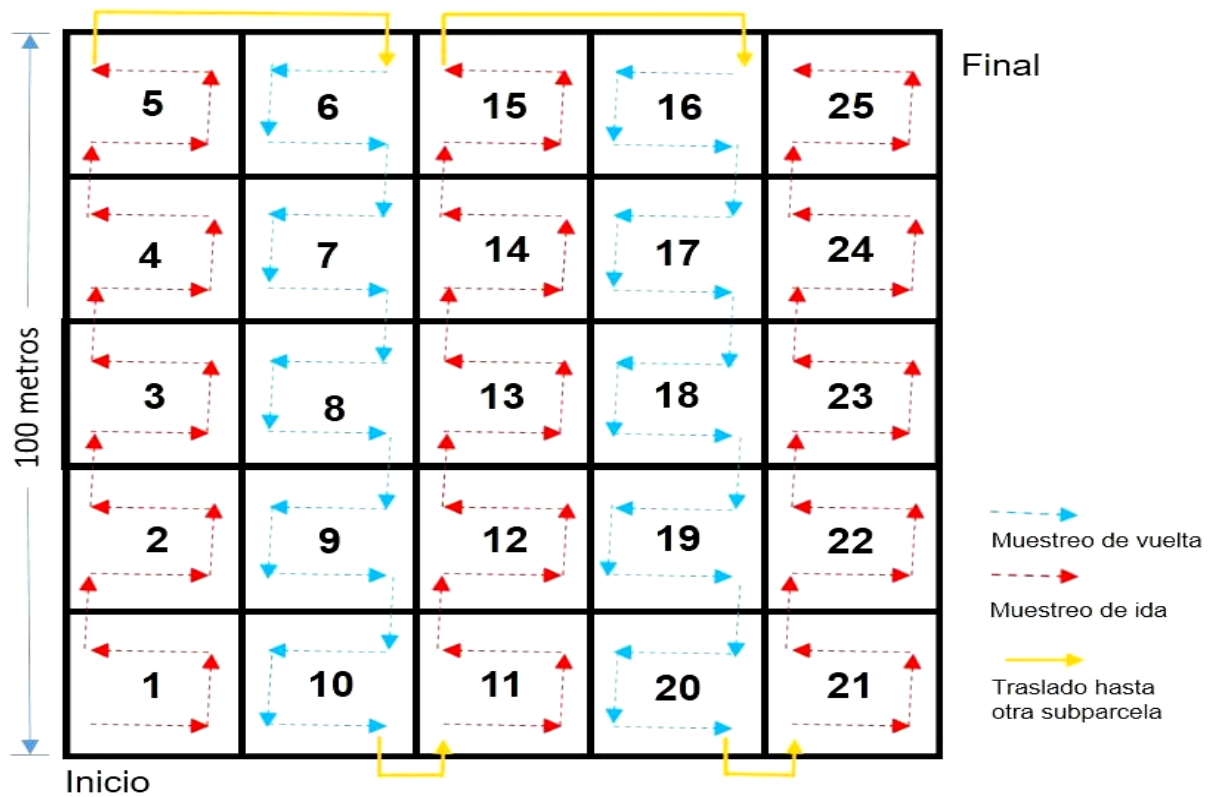


Figura 2. Recorrido del muestreo dentro de la PPM IV.

Tabla 2. Lista de especies que representan al IVI.

Nº	Especie	PPM N° 4 (bosques colina alta)	
		Abundancia	Porcentaje de abundancia
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

Tabla 3. Lista de especies considerados como tratamientos.

B	N°	Especie	Abundancia (%)	Nivel de abundancia
	1	<i>Senefeldera inclinata</i>	27,9	Alto
B₁	2	<i>Pourouma minor</i>	4,3	Medio
	3	<i>Dacryodes nitens</i>	2,2	Bajo
	1	<i>Senefeldera inclinata</i>	27,9	Alto
B₂	2	<i>Pourouma minor</i>	4,3	Medio
	3	<i>Dacryodes nitens</i>	2,2	Bajo
	1	<i>Senefeldera inclinata</i>	27,9	Alto
B₃	2	<i>Pourouma minor</i>	4,3	Medio
	3	<i>Dacryodes nitens</i>	2,2	Bajo
	1	<i>Senefeldera inclinata</i>	27,9	Alto
B₄	2	<i>Pourouma minor</i>	4,3	Medio
	3	<i>Dacryodes nitens</i>	2,2	Bajo
	1	<i>Senefeldera inclinata</i>	27,9	Alto
B₅	2	<i>Pourouma minor</i>	4,3	Medio
	3	<i>Dacryodes nitens</i>	2,2	Bajo

Fuente: Medicado de Diaz (2018).

B: Bloque

Se realizó un recorrido por la parcela permanente de medición hasta identificar cada árbol a muestrear (**Figura 3**), luego se recolectaron las hojas de las tres especies seleccionadas con la ayuda de tijeras telescópicas. Debido a que las características de las hojas varían con la disponibilidad de la luz. Se colectaron las ramas con hojas expuestas completamente a la luz si es posible. Y en el caso de los individuos que estuvieron completamente en la sombra se recolectó las hojas de la parte superior, esto fue factible en la mayoría de los individuos juveniles o árboles que alcanzaban el estrato medio (Madidi et al., 2012).

De cada individuo seleccionado se colectó una rama que contenía como característica mínima 30 cm de largo, sin considerar el brote foliar y que estuvo expuesta al sol. Esta rama fue usada para medir las características funcionales (Madidi et al., 2012).

A cinco individuos de cada una de las tres especies (**Tabla 3**) se les cosecharon cinco hojas de distintas ramas por individuo, siguiendo el protocolo estándar para toma de muestras foliares (Cornelissen et al., 2003). Las hojas tuvieron que

estar sanas, sin herbivoría y estuvieron plenamente expuestas al sol. Cada hoja fue empacada en una bolsa plástica resellable, con papel absorbente altamente humedecido y se almacenó en una nevera a 4 °C por un máximo de 24 horas. Luego, en el laboratorio de Semillas cada hoja fue pesada (peso fresco) en una balanza analítica digital con precisión a 0,001 g y después se procedió a medir con el Medidor de área foliar para los caracteres foliares tales como; largo y ancho de hoja se midió con regla. El contenido foliar de materia seca se calculó como la relación entre el peso seco y el peso fresco de cada hoja completamente hidratada, mientras que el área foliar específica se determinó como la relación entre el área foliar, incluyendo el peso seco.

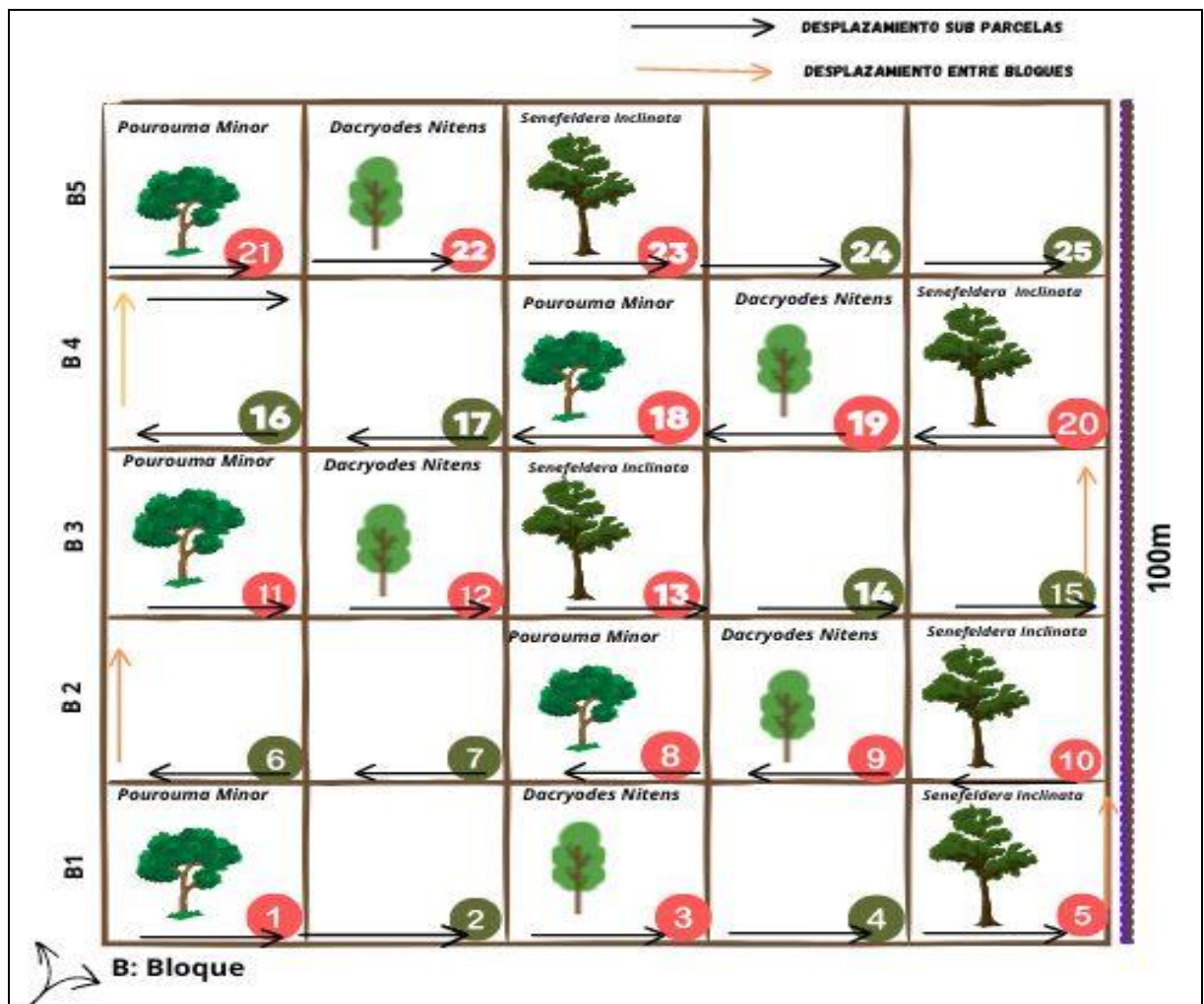


Figura 3. Croquis de la distribución de las especies – PPM 04-BRUNAS.

Los datos fueron sometidos a la tabulación respectiva, luego se determinó los estadísticos descriptivos acompañados de un histograma con barras de error elaborados con la desviación estándar. Además, para realizar la comparación entre grupos

conformados por las especies arbóreas, respecto a las variables de estudio se utilizó el análisis de la varianza asumiendo un diseño de bloques completamente al azar, considerando como el factor de bloque corresponde a la pendiente observada en la PPM 04 (**Figura 3**), dividida en cinco partes. Además, no se realizó la comparación de medias debido a la ausencia de significancia estadísticas entre las especies estudiadas. El modelo matemático fue lo siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij}$$

Siendo:

Y_{ij} = variable respuesta en el tratamiento i , repetición j

μ = media general

T_i = efecto de tratamiento i

B_j = efecto de bloque j

E_{ij} = error experimental

Tabla 4. Modelo del análisis de la varianza.

Fuentes de variabilidad	Esquema	Grados de libertad
Bloques	$b - 1$	4
Especies arbóreas	$t - 1$	2
Error experimental	$(b - 1)(t - 1)$	8
Total	$tb - 1$	14

b: cantidad de bloques

t: tratamientos o cantidad de especies

3.2.2.2. Determinación de la composición química orgánica: carbono (C), nitrógeno (N) y fósforo (P) de tres especies arbóreas

Para obtener los análisis químico, se recolectaron las hojas de las tres especies seleccionadas con la ayuda de tijeras telescópicas y subidoras para luego ser empaquetadas en bolsas Ziploc y para ser entregadas al personal que trabaja en el laboratorio central de investigación (LCI) de la Universidad Nacional Agraria de la selva, luego se puso dentro de la estufa a una temperatura de 105 °C por un periodo de 24 h, una vez secado las muestras se molieron y se el personal especializado hizo las lecturas mediante ICP, para determinar el porcentaje de C, N y P.

En el análisis de los datos se consideró el proceso detallado en el objetivo anterior donde se resalta los estadísticos descriptivos y el análisis de la varianza, siendo ejecutado este último con la finalidad de comparar las composiciones químicas.

3.2.2.3. Correlación de la composición química orgánica y los caracteres funcionales foliares de tres especies arbóreas de un bosque de selva alta de Tingo María, Huánuco, Perú

Con fines de buscar la presencia o ausencia de correlación alguna entre composición química orgánica con los caracteres funcionales foliares de tres especies arbóreas se utilizó la base de datos donde se organizaron los datos en una tabla, donde la primera columna representaba el número de árboles por cada especie, luego el código correspondiente a las especies, seguidamente en cada encabezado de las columnas se colocó las variables medidas (composición química y caracteres funcionales).

Una vez registrado los datos se realizó la prueba de normalidad para que recién con la presencia de que los datos no presentaron distribución normal se optó por utilizar la prueba no paramétrica (correlación de Spearman o ρ), seguidamente se realizó la interpretación teniendo en cuenta:

- Correlación positiva o negativa: Determinada si la correlación es positiva (aumento de la composición química se asocia con un aumento en los caracteres funcionales) o negativa (aumento de la composición química se asocia con una disminución en los caracteres funcionales).
- Fuerza de la correlación: Evaluando la fuerza de la correlación (débil, moderada o fuerte).
- Significación estadística: Determinada si la correlación es estadísticamente significativa, es decir, si es poco probable que se deba al azar (se observó el p-valor).

3.2.2.4. Componentes de la investigación

a. Enfoque de investigación

Se encuentra enmarcado en enfoque cuantitativo (Hernández et al., 2014), debido a que solamente se tuvo variables cuantitativas y se hizo uso de la estadística.

b. Diseño de investigación

El diseño que se prosiguió en la presente investigación fue no experimental, que se divide en la nominación transversal debido a que se realizó solamente una medición de las variables en las unidades de estudio y específicamente se enmarcó en el tipo correlacional (Hernández et al., 2014), porque aparte de realizar un análisis descriptivo de los datos, se complementó el análisis buscando una relación entre las dos variables como son

los caracteres funcionales con la composición química orgánica de las especies arbóreas del presente estudio.

c. Nivel de investigación

Debido a que no hubo manipulación deliberada de ninguna variable en estudio, el presente estudio fue descriptivo y correlacional (Hernández et al., 2014), porque básicamente consistió en describir y relacionar las características del grupo funcional de la vegetación arbórea tal como se encuentra en el BRUNAS el año 2023 y 2024.

d. Tipo de investigación

Teniendo en consideración los criterios mencionados por Supo (2014), el estudio fue “sin intervención” es observacional porque no se modificó la realidad, únicamente se observó y también se le cataloga como “prospectivo” porque el investigador realizó sus propias mediciones, se utilizó la estadística descriptiva e inferencial. Con la descriptiva se utilizó las medidas y con la inferencial se utilizó de modelo DBCA.

e. Variables de estudio

Debido a los niveles de estudio se consideró como variables a los caracteres funcionales foliares y composición química orgánica, abarcando los indicadores siguientes:

- Contenido de carbono (C), nitrógeno (N) y fósforo (P) mostrado en porcentaje (%). Estas variables fueron obtenidas mediante el análisis elemental químico que se obtuvo los resultados en el laboratorio.
- Área foliar: Estuvo representado en cm^2 .
- Área foliar específica: Estuvo representado en cm^2/g .
- Largo de hoja
- Ancho de hoja

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación de los caracteres funcionales foliares de tres especies arbóreas

4.1.1. Materia seca (%) de tres especies arbóreas

El análisis de la materia seca foliar en tres especies arbóreas, basado en muestras de hojas obtenidas de cinco individuos por especie en un entorno de selva alta, evidencia diferencias en sus caracteres funcionales y su estabilidad fisiológica. En el caso de *P. minor*, se obtuvo una media de 4,06%, acompañada de una desviación estándar de 0,25 y un error estándar de 0,11, lo que se traduce en un coeficiente de variación del 6,25% (**Tabla 5** y **Figura 4**), indicando una homogeneidad en el contenido de materia seca foliar que sugiere un desempeño uniforme y predecible en condiciones ambientales relativamente constantes. Para López (2022), este valor refleja que es una especie adquisitiva ya que posee menor contenido foliar de materia seca.

Por el contrario, *D. nitens* presenta una media superior de 4,59% con una desviación estándar de 1,19 y un error estándar de 0,53, resultando en un coeficiente de variación del 25,94% (**Tabla 5** y **Figura 4**), lo cual denota una mayor dispersión en los valores y una posible sensibilidad a factores ambientales o variabilidad genética que modula su acumulación de materia seca foliar.

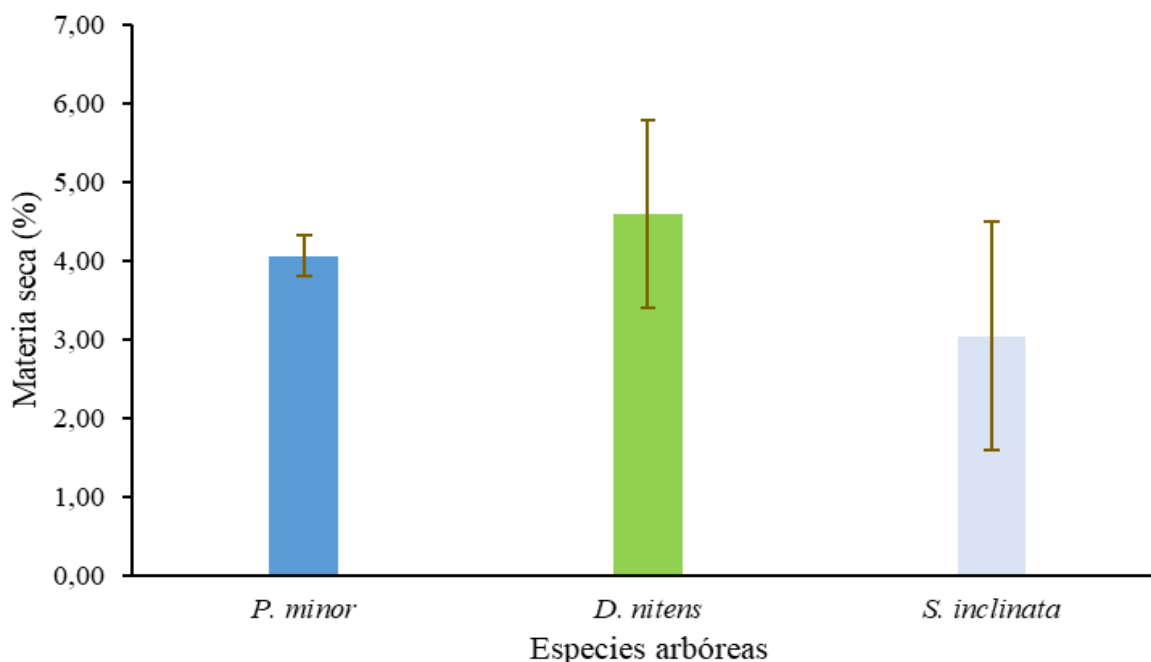
En el caso de *S. inclinata*, la media registrada fue de 3,04%, la más baja entre las especies, y se observó la mayor variabilidad, reflejada en una desviación estándar de 1,46, error estándar de 0,65 y un coeficiente de variación del 47,89% (**Tabla 5** y **Figura 4**), lo que sugiere inestabilidad en este indicador y una respuesta altamente variable ante estímulos ecológicos.

Estos hallazgos invitan a profundizar en estudios que relacionen el contenido de materia seca foliar con la eficiencia fotosintética y la adaptabilidad de cada especie, ofreciendo una perspectiva integral sobre su comportamiento funcional en ambientes de alta diversidad y complejidad. Especies con alta producción de materia seca de hojas, como aquellas identificadas por Sánchez Fonseca et al. (2008), pueden tener un impacto desproporcionado en la dinámica de nutrientes. Además, la materia seca de las hojas representa una componente significativa de la biomasa forestal, contribuyendo al almacenamiento de carbono; comprender su dinámica es crucial para modelar los ciclos de carbono y evaluar el papel de los bosques tropicales en la mitigación del cambio climático (Navarro et al., 2020).

Tabla 5. Estadísticos para la materia seca foliar (%) de tres especies arbóreas.

Especies arbóreas	N	Media	DE	Error estándar	Mínimo	Máximo	CV (%)
<i>P. minor</i>	5	4,06	0,25	0,11	3,80	4,37	6,25
<i>D. nitens</i>	5	4,59	1,19	0,53	2,67	5,96	25,94
<i>S. inclinata</i>	5	3,04	1,46	0,65	1,98	5,50	47,89

N: Cantidad de árboles. DE: Desviación estándar. CV: Coeficiente de variación.

**Figura 4.** Promedio y desviación estándar de la materia seca foliar (%) de tres especies arbóreas.

En el análisis de la varianza se determinó que tanto las especies estudiadas como los bloques delimitados no registraron diferencias estadísticas significativas (Tabla 6), además los datos no registraron ser homogéneos debido a al elevado valor del coeficiente de variación.

Tabla 6. Análisis de la varianza para la materia seca foliar (%) de tres especies arbóreas.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Bloques	0,454	4	0,114	0,065	0,991ns
Especies	6,179	2	3,090	1,772	0,231ns
Error aleatorio	13,951	8	1,744		
Total	20,585	14			

CV (%): 33,90%. ns: No existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$).

4.1.2. Área foliar específica (cm²/g)

El análisis del área foliar específica (cm²/g) en tres especies arbóreas de selva alta evidencia diferencias relevantes en sus estrategias funcionales y asignación de recursos. En *P. minor* se obtuvo una media de 129,06 cm²/g, con una desviación estándar de 9,13 y un error estándar de 4,08, lo que junto a un coeficiente de variación de 7,08% y un rango de 119,96 a 139,65 cm²/g (**Tabla 7** y **Figura 5**) indica una notable consistencia y una estrategia conservadora en la inversión foliar.

Por otro lado, *D. nitens* presentó una media de 142,34 cm²/g, aunque con mayor dispersión, evidenciada en una desviación estándar de 17,94 y un coeficiente de variación de 12,61%, abarcando valores de 128,00 a 171,15 cm²/g % (**Tabla 7** y **Figura 5**); esta mayor variabilidad sugiere una plasticidad fenotípica considerable y una respuesta adaptativa a microvariaciones ambientales. Además, por presentar área foliar específica ligeramente superior, para Pérez et al. (2004) este atributo puede usarse para medir la foliosidad de las plantas, lo que implica cuán eficiente es esa especie al asignar su biomasa para generar superficie foliar; esto tiene un impacto directo en procesos como la fotosíntesis, ya que una mayor área foliar por unidad de biomasa puede significar una mayor capacidad de capturar luz y absorber dióxido de carbono, pero a costa de una menor durabilidad de sus hojas. Además, Antúnez et al. (2001) enfatizan la importancia del AFE como un rasgo funcional clave, ya que refleja cómo las plantas optimizan su inversión en hojas para maximizar su capacidad fotosintética y su tasa de crecimiento que es mayor a la especie *P. minor*. De manera general, el AFE no solo describe las características físicas de las hojas, sino también actúa como un predictor confiable del rendimiento de crecimiento en las plantas. Asimismo, al aumentar la cantidad de especies a 45, López (2022) reportó una media de 97,28 cm²/g, pero la variabilidad fue elevada (CV: 54,8%) debido a la diversidad de especies.

En contraste, *S. inclinata* mostró una media de 139,48 cm²/g, con una desviación estándar de 11,05, error estándar de 4,94 y coeficiente de variación de 7,92%, con un rango entre 126,31 y 153,54 cm²/g (**Tabla 7** y **Figura 5**), lo que denota una moderada consistencia en su desempeño. Estos resultados indican que, aunque las tres especies comparten rasgos funcionales similares, la variabilidad observada en *D. nitens* podría estar asociada a una mayor capacidad de ajuste ante condiciones ambientales cambiantes, evidenciando estrategias de supervivencia y competitividad diferenciadas en contextos tropicales complejos. Estos hallazgos invitan a profundizar en investigaciones que integren factores ambientales y genéticos, con el fin de optimizar la comprensión de las adaptaciones ecológicas de estas especies eficientes.

Tabla 7. Estadísticos descriptivos para el área foliar específica (cm^2/g) de tres especies arbóreas.

Especies arbóreas	N	Media	DE	Error estándar	Mínimo	Máximo	CV (%)
<i>P. minor</i>	5	129,06	9,13	4,08	119,96	139,65	7,08
<i>D. nitens</i>	5	142,34	17,94	8,02	128,00	171,15	12,61
<i>S. inclinata</i>	5	139,48	11,05	4,94	126,31	153,54	7,92

N: Cantidad de árboles. DE: Desviación estándar. CV: Coeficiente de variación.

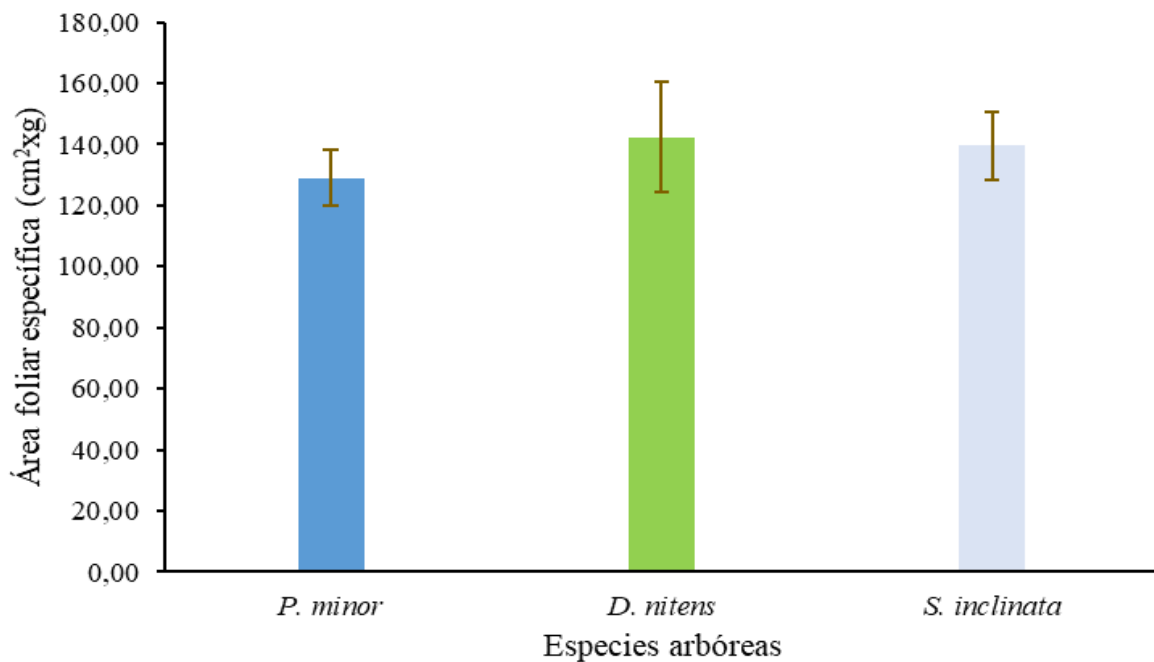


Figura 5. Promedio y desviación estándar del área foliar específica (cm^2/g) de tres especies arbóreas.

En el análisis de la varianza se determinó que tanto las especies estudiadas como los bloques delimitados no registraron diferencias estadísticas significativas respecto al área foliar específica (**Tabla 8**).

Tabla 8. Análisis de la varianza del área foliar específica (cm^2/g) de tres especies arbóreas.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Bloques	950,895	4	237,724	1,641	0,255ns
Especies	488,739	2	244,370	1,687	0,245ns
Error aleatorio	1 158,734	8	144,842		
Total	2 598,368	14			

CV (%): 8,79%. ns: No existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$).

4.1.3. Área foliar (cm²)

El análisis de los estadísticos descriptivos para el área foliar (cm²) de tres especies arbóreas extraídas de la selva alta evidencia diferencias significativas que aportan claves sobre sus estrategias funcionales y mecanismos de adaptación a condiciones ambientales diversas. En el caso de *Pourouma minor* se observa una media de 213,92 cm², acompañada de una desviación estándar de 17,28 y un coeficiente de variación del 8,08% (**Tabla 9** y **Figura 6**), lo que indica una homogeneidad relativa en el tamaño foliar entre los cinco individuos muestreados y sugiere una estrategia conservadora en el aprovechamiento lumínico y en la eficiencia fotosintética.

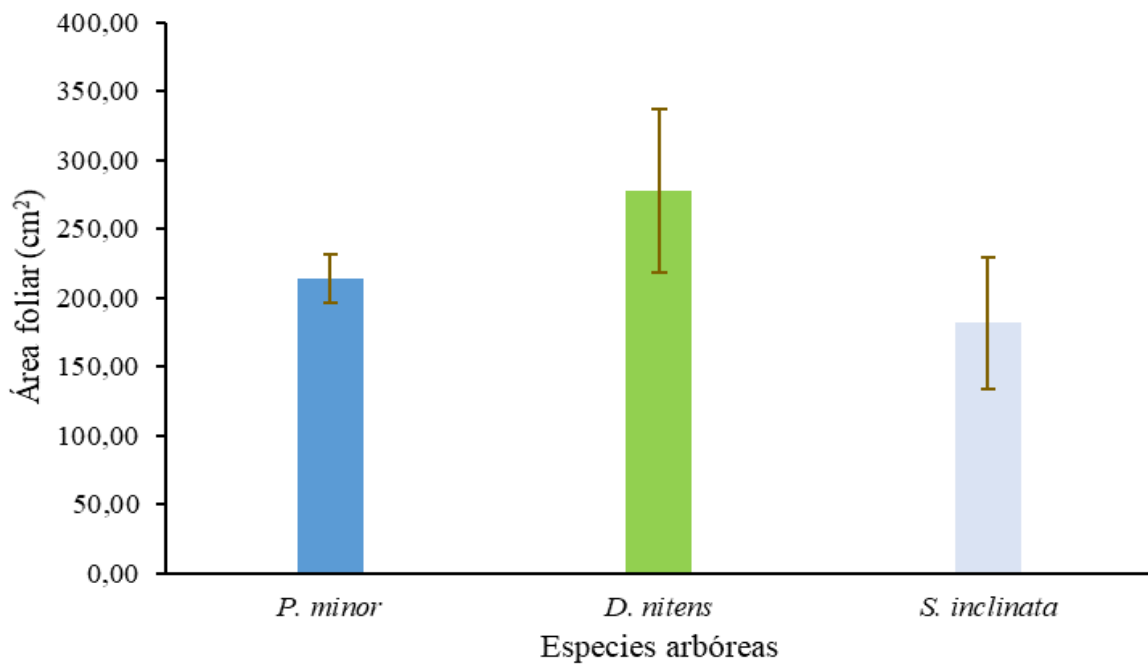
En contraste, *D. nitens* presenta una media de 277,59 cm², significativamente superior, aunque con una desviación estándar de 59,16 y un coeficiente de variación del 21,31% (**Tabla 9** y **Figura 6**), lo que refleja una mayor dispersión en los datos y evidencia una alta plasticidad fenotípica que podría permitir a la especie ajustarse a microvariaciones en la disponibilidad de recursos y a cambios en el microclima. Además, los mayores valores de variabilidad en *D. nitens* y *S. inclinata* podrían indicar una mayor diversidad genética o diferentes condiciones ambientales que afectan el área foliar, siendo la primera especie que posee mayor capacidad fotosintética (Kozlowski et al., 1991), mejor crecimiento, mayor actividad fotosintética, elevada tasa de transpiración, mejor capacidad de interceptar la luz, mayor ganancia de biomasa y el balance energético (Kucharik et al., 1998) en comparación a las demás especies en estudio. En contraste, la menor variabilidad en *P. minor* sugiere que esta especie puede tener una respuesta más uniforme a las condiciones ambientales.

Por otro lado, *Senefeldera inclinata* muestra la media más baja, 181,69 cm², junto con la mayor variabilidad, representada por un coeficiente de variación del 26,41% (**Tabla 9** y **Figura 6**), lo cual sugiere una marcada heterogeneidad en la estructura foliar entre los individuos, posiblemente derivada de diferencias genéticas o respuestas adaptativas a gradientes ambientales. Estos hallazgos resaltan la importancia de evaluar tanto la media como la dispersión de las variables funcionales, pues una consistencia en el área foliar, como la observada en *P. minor*, puede estar asociada a una ventaja en entornos relativamente estables, mientras que la alta plasticidad en *D. nitens* y *S. inclinata* podría ser fundamental para su supervivencia y competitividad en ambientes de alta complejidad ecológica. Además, de modo general, resultado superior llegó a registrar López (2022) al estudiar a 45 especies donde la media fue de 344,12 cm² con un coeficiente de variación del 147,4% por la diversidad de especies.

Tabla 9. Estadísticos descriptivos para el área foliar (cm²) de tres especies arbóreas.

Especies arbóreas	N	Media	DE	Error estándar	Mínimo	Máximo	CV (%)
<i>P. minor</i>	5	213,92	17,28	7,73	201,05	241,60	8,08
<i>D. nitens</i>	5	277,59	59,16	26,46	180,31	341,44	21,31
<i>S. inclinata</i>	5	181,69	47,98	21,46	134,64	250,13	26,41

N: Cantidad de árboles. DE: Desviación estándar. CV: Coeficiente de variación.

**Figura 6.** Promedio y desviación estándar del área foliar (cm²) de tres especies arbóreas.

En el análisis de la varianza se determinó que tanto las especies estudiadas como los bloques delimitados no registraron diferencias estadísticas significativas respecto al área foliar (**Tabla 10**), además los datos no registraron ser homogéneos debido a al elevado valor del coeficiente de variación.

Tabla 10. Análisis de la varianza para el área foliar (cm²) de tres especies arbóreas.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Bloques	816,320	4	204,080	0,069	0,990ns
Especies	23 812,652	2	11 906,326	4,038	0,061ns
Error aleatorio	23 586,981	8	2 948,373		
Total	48 215,953	14			

CV (%): 24,20%. ns: No existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$).

4.1.4. Largo de la hoja (cm)

El análisis de los datos descriptivos para el largo de la hoja (cm) en tres especies arbóreas de selva alta revela patrones distintivos en sus estrategias funcionales y respuestas adaptativas. En el caso de *P. minor*, la media registrada de 27,06 cm, acompañada de una desviación estándar de 0,63, un error estándar de 0,28 y un coeficiente de variación de apenas 2,33% (**Tabla 11** y **Figura 7**), denota una marcada homogeneidad en el tamaño foliar entre los individuos, lo cual sugiere una estrategia conservadora y estable ante las condiciones ambientales, permitiendo una optimización en la captación de luz y eficiencia fotosintética. *P. minor* registró una media de 27,06 cm, valor superior a lo reportado por Pérez et al. (2014) en Ecuador que lo considera un rango entre los 13 hasta 21 cm, esta diferencia en el caso de una especie vegetal entre dos lugares distintos puede atribuirse debido a una combinación de factores ambientales (disponibilidad de luz, temperatura, disponibilidad de agua, nutrientes de los suelos y gradiente altitudinal), plasticidad fenotípica (capacidad de la especie vegetal para modificar su morfología, fisiología o comportamiento en respuesta a cambios en el ambiente), interacciones biológicas (herbivoría o competencia) y diferencias genéticas (adaptación local o deriva genética en caso de poblaciones aisladas); estas variaciones reflejan la capacidad de las plantas para adaptarse a las condiciones locales y maximizar su eficiencia en términos de supervivencia y reproducción.

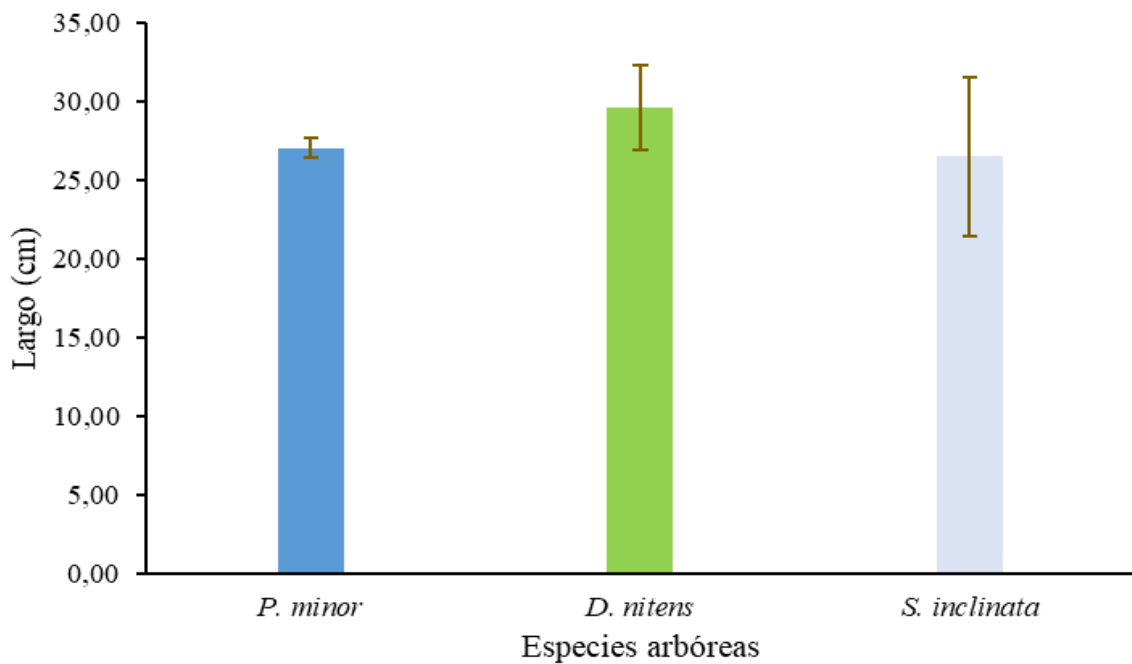
Por su parte, *D. nitens* presenta una media mayor de 29,62 cm, aunque con mayor dispersión (desviación estándar de 2,68 y CV de 9,06%), lo que evidencia una plasticidad fenotípica moderada que podría facultar a la especie para ajustar su tamaño foliar en respuesta a microvariaciones en la disponibilidad de recursos o a cambios en el microclima. Además, la longitud de la hoja para Antúnez et al. (2001) es un buen predictor de la tasa máxima del crecimiento, con la cual se estaría diferenciando a esta última especie que presentara un crecimiento más rápido en este bosque de selva alta.

En contraste, *S. inclinata* exhibe la media más baja de 26,53 cm, pero con la mayor variabilidad, reflejada en una desviación estándar de 5,03 y un CV de 18,98% (**Tabla 11** y **Figura 7**), indicando una heterogeneidad considerable entre los individuos, posiblemente atribuible a factores genéticos o a respuestas divergentes frente a gradientes ambientales. Estos hallazgos subrayan la importancia de evaluar tanto la media como la dispersión de los caracteres funcionales para comprender la diversidad adaptativa de las especies en ecosistemas complejos, y constituyen un aporte significativo para el entendimiento de las estrategias de supervivencia y competitividad en contextos de alta variabilidad ambiental.

Tabla 11. Estadísticos descriptivos para el largo de las hojas (cm) de tres especies arbóreas.

Especies arbóreas	N	Media	DE	Error estándar	Mínimo	Máximo	CV (%)
<i>P. minor</i>	5	27,06	0,63	0,28	26,36	27,84	2,33
<i>D. nitens</i>	5	29,62	2,68	1,20	26,44	33,44	9,06
<i>S. inclinata</i>	5	26,53	5,03	2,25	20,94	33,80	18,98

N: Cantidad de árboles. DE: Desviación estándar. CV: Coeficiente de variación.

**Figura 7.** Promedio y desviación estándar del largo de las hojas (cm) de tres especies arbóreas.

En el análisis de la varianza se determinó que tanto las especies estudiadas como los bloques delimitados no registraron diferencias estadísticas significativas respecto al largo de las hojas (**Tabla 12**), además los datos registraron ser homogéneos debido a al valor del coeficiente de variación.

Tabla 12. Análisis de la varianza para el largo de las hojas (cm) de tres especies arbóreas.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Bloques	14,936	4	3,734	0,256	0,898ns
Especies	27,253	2	13,627	0,933	0,432ns
Error aleatorio	116,800	8	14,600		
Total	158,990	14			

CV (%): 13,78%. ns: No existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$).

4.1.5. Ancho de la hoja (cm)

El análisis de los estadísticos descriptivos del ancho de la hoja (cm) para las especies arbóreas de selva alta revela diferencias notables en sus características funcionales y en la estabilidad de este rasgo. *P. minor* presenta una media de 10,72 cm, con una desviación estándar de 0,29, error estándar de 0,13 y un coeficiente de variación (CV) de 2,75% (**Tabla 13** y **Figura 8**), lo que evidencia una homogeneidad considerable y una estrategia conservadora en cuanto a la dispersión del ancho foliar, reflejando condiciones ambientales relativamente uniformes o un alto grado de estabilidad genética entre los individuos.

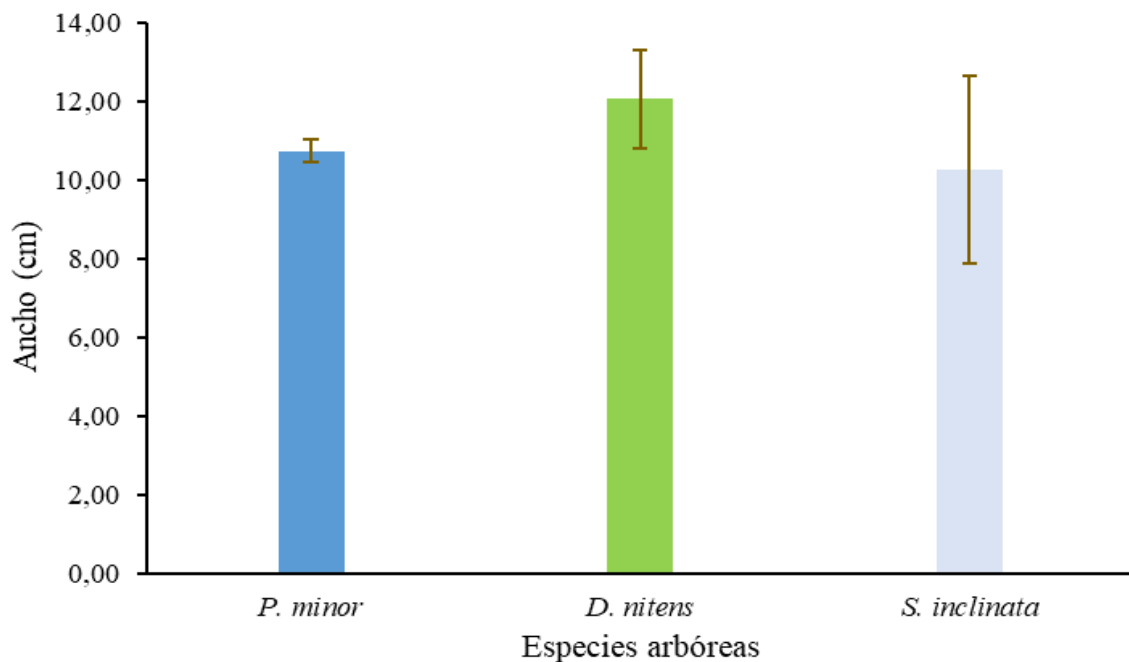
D. nitens muestra una media mayor de 12,05 cm, pero con mayor dispersión (desviación estándar de 1,25 y CV de 10,35%), lo que indica una plasticidad fenotípica moderada (**Tabla 13** y **Figura 8**) que podría facilitar su adaptación a variaciones microambientales, sugiriendo una estrategia de inversión en mayor tamaño foliar para optimizar la captación de recursos lumínicos en condiciones variables. Además, para Alvarado-Hernández et al. (2022), la altitud afecta estas dimensiones; en bosques montanos de Costa Rica, el largo foliar disminuyó de 18 cm a 12 cm con el aumento de la elevación, debido a temperaturas más bajas y mayor exposición al viento; Poorter et al. (2019) añaden que, las especies pioneras, como *Cecropia peltata*, tienden a tener hojas más grandes (largo: 25-30 cm) que las de sucesión tardía, optimizando la captura de luz en claros forestales.

En contraste, *S. inclinata* registra la media más baja, 10,25 cm, junto a una alta variabilidad (desviación estándar de 2,38 y CV de 23,21%), lo que indica una considerable heterogeneidad en el ancho de la hoja entre los individuos (**Tabla 13** y **Figura 8**), posiblemente debido a diferencias genéticas o a respuestas divergentes ante gradientes ambientales. Estos resultados, al analizar tanto los valores centrales como la dispersión de los datos, subrayan la importancia de integrar análisis funcionales y estadísticos para comprender mejor las respuestas adaptativas en ambientes tropicales, identificando estrategias de supervivencia y optimización del uso de recursos en ambientes complejos. Para Antúnez et al. (2001) esta variable es un buen predictor de la tasa máxima del crecimiento, con la cual se estaría diferenciando a esta última especie que presentara un crecimiento más rápido en este bosque de selva alta, esto lo corroboró Lago (2019) al registrar árboles de esta especie que llegaron a medir hasta los 40 m, en comparación a las especies de *P. minor* que solamente llegaban a registrar alturas inferiores a los 22 m y *S. inclinata* que en algunas plantas lograron obtener hasta los 25 m. Además, la media para *P. minor* fue 10,72 cm, valor superior al reporte de Pérez et al. (2014) en Ecuador que lo considera un rango entre los 7 hasta 10 cm.

Tabla 13. Estadísticos descriptivos para el ancho de las hojas (cm) de tres especies arbóreas.

Especies arbóreas	N	Media	DE	Error estándar	Mínimo	Máximo	CV (%)
<i>P. minor</i>	5	10,72	0,29	0,13	10,36	11,10	2,75
<i>D. nitens</i>	5	12,05	1,25	0,56	9,94	13,20	10,35
<i>S. inclinata</i>	5	10,25	2,38	1,06	8,54	14,36	23,21

N: Cantidad de árboles. DE: Desviación estándar. CV: Coeficiente de variación.

**Figura 8.** Promedio y desviación estándar del ancho de las hojas (cm) de tres especies arbóreas.

En el análisis de la varianza se determinó que tanto las especies estudiadas como los bloques delimitados no registraron diferencias estadísticas significativas respecto al ancho de las hojas (**Tabla 14**), además los datos registraron ser homogéneos debido a al valor del coeficiente de variación.

Tabla 14. Análisis de la varianza para el ancho de las hojas (cm) de tres especies arbóreas.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Bloques	2,682	4	0,671	0,202	0,930ns
Especies	8,699	2	4,350	1,312	0,322ns
Error aleatorio	26,522	8	3,315		
Total	37,903	14			

CV (%): 16,54%. ns: No existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$).

4.2. Determinación de la composición química orgánica de tres especies arbóreas

4.2.1. Composición del carbono (%)

D. nitens presenta la media más alta (38,97%) con baja dispersión (DE=2,53; CV=6,49%), indicando homogeneidad en su capacidad de almacenamiento de carbono (**Tabla 15** y **Figura 9**), posiblemente asociada a una regulación metabólica estricta y hojas estructuralmente consistentes, típicas de especies conservadoras en recursos. El contenido de carbono foliar es un indicador clave del papel de las hojas en procesos ecosistémicos como la descomposición y el almacenamiento de carbono. Estudios recientes, como el de Asner y Martín (2015), resaltan que las especies tropicales presentan variabilidad en su composición química foliar en respuesta a limitaciones de nutrientes y condiciones ambientales. Esto podría explicar los valores inferiores de carbono en el presente estudio comparados con los reportados por Vendramini (2000), ya que los suelos tropicales altamente lixiviados de selva alta suelen ser más pobres en nutrientes.

S. inclinata registra la media más elevada (39,63%) pero con alta variabilidad (DE=7,55; CV=19,06%), sugiriendo plasticidad fenotípica o respuestas heterogéneas a microambientes (**Tabla 15** y **Figura 9**), característica de especies oportunistas que modulan su fisiología ante gradientes lumínicos o edáficos. Este resultado, aunque inferior en promedio al rango registrado por Vendramini (2000) en especies de leñosas perennifolias de gradientes altitudinales en Argentina (43,8% a 47,0%), reflejan características químicas y funcionales propias de las especies tropicales de selva alta.

P. minor, con la media más baja (37,19%) y variabilidad moderada (CV=8,69%), podría reflejar una estrategia intermedia, equilibrando inversión en carbono estructural versus metabólico. Por otro lado, los valores más bajos de carbono encontrados en *P. minor* coinciden con estudios como el de Reich et al. (1998), que relacionan bajo contenido de carbono con tasas de descomposición más rápidas, característica de especies pioneras o de rápido crecimiento. Estas diferencias entre especies de un mismo bosque subrayan la importancia de los factores edáficos y la plasticidad funcional en ecosistemas tropicales.

El error estándar (1,13–3,38) evidencia que, mientras *D. nitens* y *P. minor* tienen estimaciones más precisas, la amplia dispersión en *S. inclinata* reduce la confiabilidad de su media, requiriendo mayor muestreo para validar tendencias. Estas divergencias sugieren que *D. nitens*, con alta eficiencia y estabilidad, sería clave en secuestro de carbono predecible, mientras *S. inclinata*, pese a su potencial máximo, presenta riesgos en modelos de captura debido a su imprevisibilidad. La variabilidad intraespecífica en *S. inclinata* podría interpretarse como un mecanismo adaptativo ante estrés ambiental,

permitiendo nichos ecológicos dinámicos, pero cuestiona su rol en proyectos de restauración con metas cuantitativas estrictas. Así, los resultados enfatizan que la selección de especies para mitigación climática debe integrar no solo valores medios, sino la estabilidad funcional, priorizando taxones como *D. nitens* que garantizan resiliencia en escenarios de cambio global.

Tabla 15. Estadísticos descriptivos para el contenido de carbono foliar (%) de tres especies arbóreas.

Especies arbóreas	N	Media	DE	EE	Mínimo	Máximo	CV (%)	Interpretación
<i>P. minor</i>	5	37,19	3,23	1,45	31,49	39,42	8,69	Valor común
<i>D. nitens</i>	5	38,97	2,53	1,13	36,48	42,71	6,49	Valor común
<i>S. inclinata</i>	5	39,63	7,55	3,38	32,63	48,37	19,06	Valor común

N: Cantidad de árboles. DE: Desviación estándar. EE: Error estándar. CV: Coeficiente de variación.

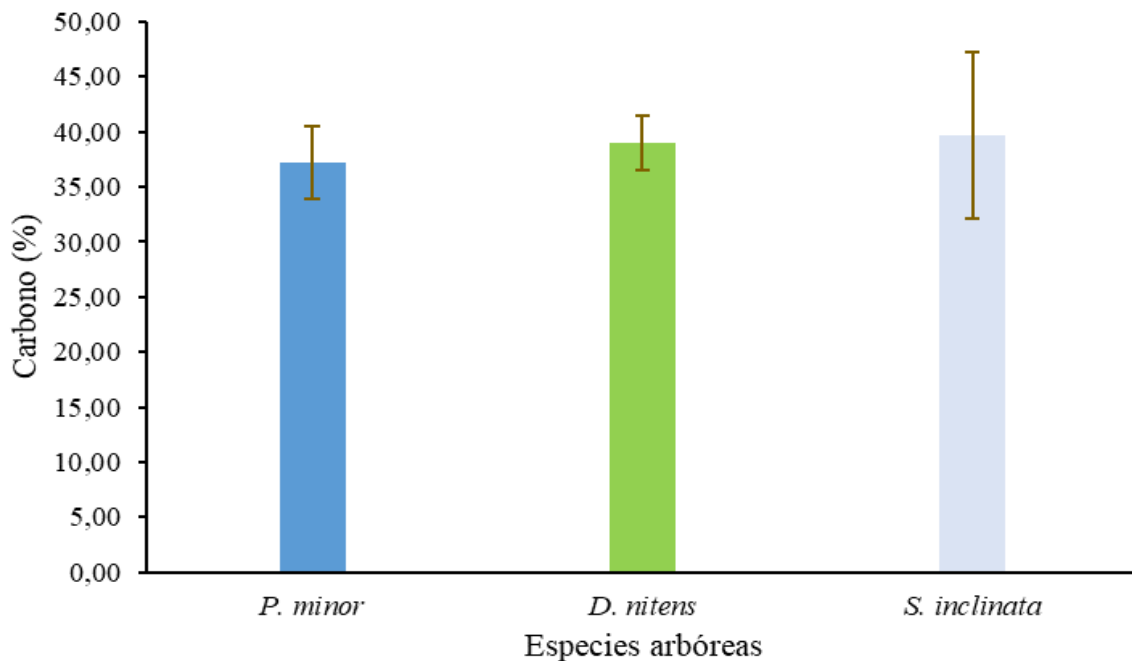


Figura 9. Promedio y desviación estándar del contenido de carbono foliar (%) de tres especies arbóreas.

El análisis de varianza muestra que no hay diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje de carbono entre las tres especies estudiadas (**Tabla 16**). La variabilidad observada en el porcentaje de carbono es mayormente explicada por factores no considerados en el modelo (residual), y las diferencias entre bloques, aunque más relevantes, tampoco son estadísticamente significativas. Por lo tanto, se concluye que las especies *S.*

inclinata, *D. nitens*, y *P. minor* tienen porcentajes de carbono similares. La ausencia de diferencias estadísticas significativas entre las especies sugiere una respuesta funcional convergente frente a las condiciones edáficas locales, como suelos ácidos y de baja fertilidad. Sin embargo, las ligeras variaciones entre especies reflejan estrategias adaptativas: *P. minor* podría priorizar un ciclo rápido de nutrientes debido a su menor contenido de carbono, mientras que *S. inclinata* y *D. nitens* invertirían más en la construcción de hojas más ricas en carbono estructural.

Tabla 16. Análisis de la varianza del carbono foliar (%) de tres especies arbóreas.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Bloques	167,152	4	41,788	2,603	0,116ns
Especies	15,867	2	7,934	0,494	0,628ns
Error aleatorio	128,426	8	16,053		
Total	311,445	14			

CV (%): 10,38%. ns: No existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$).

4.2.2. Composición del nitrógeno (%)

S. inclinata presenta el mayor contenido promedio de nitrógeno foliar (3,43%), seguido por *P. minor* y *D. nitens*, ambas con un promedio idéntico de 2,91% (**Tabla 17** y **Figura 10**). Sin embargo, la variabilidad intrínseca dentro de cada especie, medida mediante la desviación estándar (DE) y el coeficiente de variación (CV), destaca diferencias importantes. *S. inclinata* exhibe una DE baja (0,20%) y un CV reducido (5,76%), lo que sugiere una notable homogeneidad en su contenido de nitrógeno foliar, posiblemente asociada a una estrategia funcional más especializada o a condiciones ambientales relativamente uniformes entre los individuos muestreados. *S. inclinata*, con el mayor contenido promedio de nitrógeno, puede ser más eficiente en términos de fijación de carbono, ya que el nitrógeno foliar está estrechamente relacionado con la actividad fotosintética (Reich et al., 1998). Por otro lado, *P. minor* y *D. nitens*, aunque presentan valores menores, mantienen un contenido suficiente para sostener estrategias funcionales que combinan crecimiento moderado y mayor duración foliar.

En contraste, *P. minor* y *D. nitens* muestran una mayor variabilidad con un CV de 22,58% y 18,59%, respectivamente (**Tabla 17** y **Figura 10**), lo que podría indicar una mayor plasticidad fenotípica o respuestas diferenciadas a microhábitats heterogéneos dentro del ecosistema de selva alta. Estos valores superan el rango reportado por Vendramini

(2000) para especies leñosas perennifolias de Argentina (1,49% a 2,58%), lo que podría estar relacionado con diferencias ambientales y edáficas entre las regiones estudiadas.

Los resultados sugieren una mayor inversión en nitrógeno foliar en las especies de selva alta, probablemente debido a estrategias adaptativas que favorecen la actividad fotosintética en un ambiente competitivo por luz. La *S. inclinata* presentó el mayor promedio de nitrógeno, lo que podría estar asociado con un enfoque en el crecimiento rápido (Lemaire et al., 1991) o una mayor capacidad de respuesta a la disponibilidad de recursos.

El contenido foliar de nitrógeno es un indicador de la capacidad fotosintética y del metabolismo de las plantas, influyendo en procesos clave como el crecimiento y la descomposición. Los valores más altos en este estudio, en comparación con los de Vendramini (2000), podrían estar relacionados con una mayor disponibilidad de nitrógeno en los suelos tropicales o con adaptaciones específicas de las especies a las condiciones de la selva alta, como la competencia por luz y nutrientes.

El rango de valores mínimos y máximos también refuerza esta interpretación (**Tabla 17** y **Figura 10**): mientras que *S. inclinata* tiene un rango estrecho (3,14–3,64%) que es contrario a lo que Niinemets et al. (2015) reportaron, ya que en los bosques las hojas del dosel de los árboles por un efecto de “auto sombrío” provoca sobre las hojas más basales variaciones sobre la composición química foliar. En el caso de las otras dos especies presentan rangos más amplios (2,13–3,53% para *P. minor* y 2,46–3,58% para *D. nitens*). Estos resultados sugieren que *S. inclinata* puede estar adaptada a un nicho más específico, optimizando el uso del nitrógeno para procesos fisiológicos clave como la fotosíntesis, mientras que *P. minor* y *D. nitens* podrían mostrar una mayor capacidad para ajustarse a variaciones ambientales. Este estudio subraya la importancia de considerar tanto la media como la variabilidad en caracteres funcionales para comprender las estrategias ecológicas de las especies en ecosistemas tropicales complejos.

Tabla 17. Estadísticos descriptivos para el contenido de nitrógeno foliar (%) de tres especies arbóreas.

Especies arbóreas	N	Media	DE	Error estándar	Mínimo	Máximo	CV (%)	Nivel
<i>P. minor</i>	5	2,91	0,66	0,29	2,13	3,53	22,58	Óptimo
<i>D. nitens</i>	5	2,91	0,54	0,24	2,46	3,58	18,59	Óptimo
<i>S. inclinata</i>	5	3,43	0,20	0,09	3,14	3,64	5,76	Óptimo

N: Cantidad de árboles. DE: Desviación estándar. CV: Coeficiente de variación.

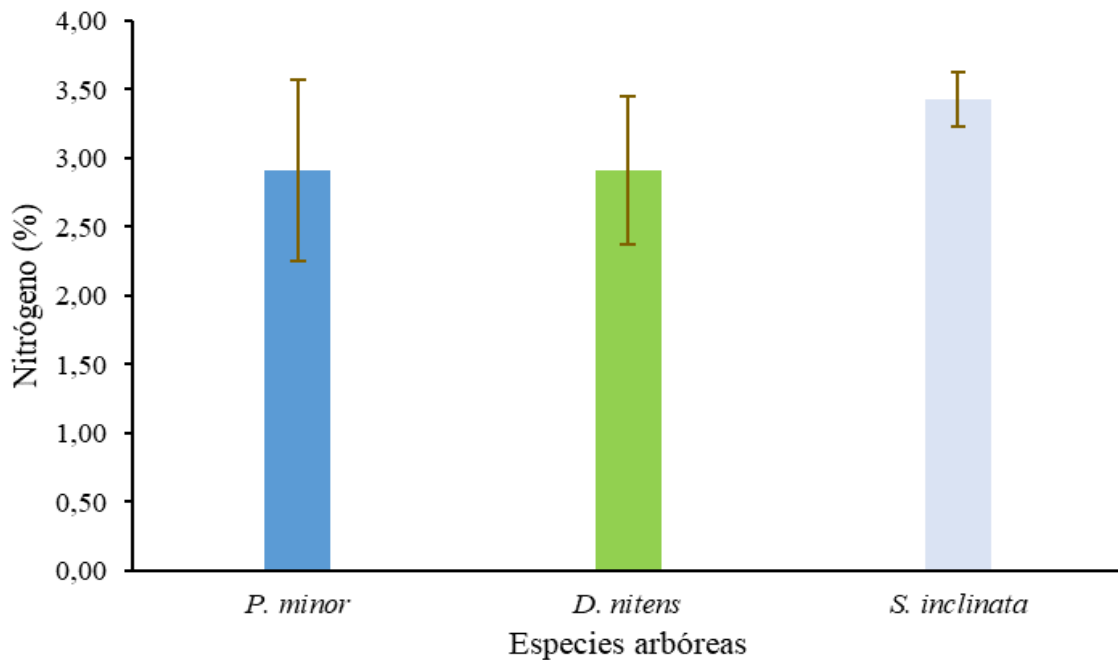


Figura 10. Promedio y desviación estándar del contenido de nitrógeno foliar (%) de tres especies arbóreas.

De manera general, no hay diferencias significativas en el porcentaje de nitrógeno entre las tres especies estudiadas según los resultados del análisis de la varianza. Las medias de las tres especies no son significativamente diferentes entre sí (**Tabla 18**), además los datos registraron ser homogéneos debido a al valor del coeficiente de variación. La ausencia de diferencias estadísticas significativas entre las especies indica que estas comparten una estrategia adaptativa convergente en un ambiente similar. Sin embargo, las diferencias absolutas sugieren que las especies podrían ocupar nichos complementarios dentro del ecosistema, optimizando su desempeño bajo las condiciones de la selva alta.

Tabla 18. Análisis de la varianza para el contenido de nitrógeno foliar (%) de tres especies arbóreas.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Bloques	1,015	4	0,254	0,993	0,464ns
Especies	0,884	2	0,442	1,730	0,238ns
Error aleatorio	2,045	8	0,256		
Total	3,944	14			

CV (%): 16,39%. ns: No existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$).

4.2.3. Composición del fósforo (%)

El análisis de los estadísticos descriptivos del contenido de fósforo foliar (%) en las tres especies de árboles estudiadas revela patrones que reflejan tanto variabilidad intraespecífica como diferencias funcionales entre las especies. *S. inclinata* presenta el mayor contenido promedio de fósforo foliar (0,11%), seguido por *P. minor* y *D. nitens*, ambas con un promedio idéntico de 0,10% (**Tabla 19** y **Figura 11**). Estos resultados son más bajos que el rango reportado por Vendramini (2000) para especies de leñosas perennifolias de Argentina (0,12% a 0,20%).

Sin embargo, la variabilidad intrínseca dentro de cada especie, medida mediante la desviación estándar (DE) y el coeficiente de variación (CV), destaca diferencias significativas. *S. inclinata* exhibe una DE baja (0,02%) y un CV reducido (13,29%), lo que sugiere una notable homogeneidad en su contenido de fósforo foliar, posiblemente asociada a una estrategia funcional más especializada o a condiciones ambientales relativamente uniformes entre los individuos muestreados. Reportes variables lo plasman en la publicación de Poorter et al. (2021) en donde los biomas Boreal presentaban entre 0,05%-0,10% de P respecto a su peso seco, para el bioma Templado fue 0,10%-0,30%, el bioma Tropical fue 0,15%-0,50% y el bioma Árido abarcó desde 0,10% hasta 0,20%, esto es de suma importancia conocer debido a que el fósforo (0,05-0,5%) se encuentra en moléculas como el Adenosín trifosfato-ATP y los fosfolípidos son esenciales para el metabolismo energético (Pérez-Harguindeguy et al., 2013).

En contraste, *P. minor* muestra una mayor variabilidad (CV de 33,03%), seguida por *D. nitens* (CV de 19,12%), lo que podría indicar una mayor plasticidad fenotípica o respuestas diferenciadas a microhábitats heterogéneos dentro del ecosistema de selva alta. El rango de valores mínimos y máximos también refuerza esta interpretación: mientras que *S. inclinata* tiene un rango estrecho (0,09–0,12%), las otras dos especies presentan rangos más amplios (0,06–0,13% para *P. minor* y 0,08–0,13% para *D. nitens*). Estos resultados sugieren que *S. inclinata* puede estar adaptada a un nicho más específico, optimizando el uso del fósforo para procesos metabólicos esenciales como la síntesis de ATP y la transferencia de energía, mientras que *P. minor* y *D. nitens* podrían mostrar una mayor capacidad para ajustarse a variaciones ambientales. Este estudio subraya la importancia de considerar tanto la media como la variabilidad en caracteres funcionales para comprender las estrategias ecológicas de las especies en ecosistemas tropicales complejos, donde el fósforo suele ser un nutriente limitante.

Tabla 19. Estadísticos descriptivos para el contenido de fósforo foliar (%) de tres especies arbóreas.

Especies arbóreas	N	Media	DE	EE	Mínimo	Máximo	CV (%)	Nivel
<i>P. minor</i>	5	0,10	0,03	0,01	0,06	0,13	33,03	Deficiente y bajo
<i>D. nitens</i>	5	0,10	0,02	0,01	0,08	0,13	19,12	Deficiente
<i>S. inclinata</i>	5	0,11	0,02	0,01	0,09	0,12	13,29	Deficiente y bajo

N: Cantidad de árboles. DE: Desviación estándar. EE: Error estándar. CV: Coeficiente de variación.

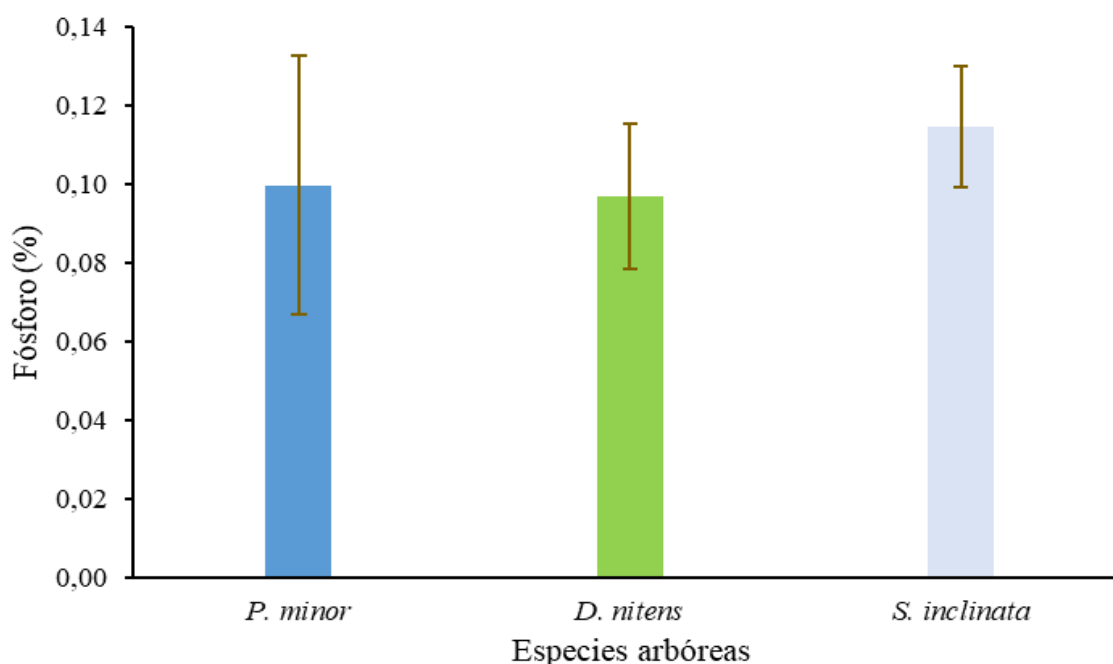


Figura 11. Promedio y desviación estándar del contenido de fósforo foliar (%) de tres especies arbóreas.

El análisis de varianza indica que no hay diferencias significativas en el contenido de fósforo foliar entre las tres especies estudiadas; esto se refleja en el p-valor de 0,497 para la variable "especie" en el análisis de la varianza, indicando que las variaciones observadas en los datos no son suficientes para concluir que hay diferencias reales entre las especies (**Tabla 20**). El coeficiente de variación (CV) de 23,61 indica una variabilidad considerable en los datos del porcentaje de fósforo. Comparados con los resultados de Vendramini (2000), los valores inferiores de fósforo podrían estar vinculados a diferencias en la calidad del suelo, ya que los ecosistemas tropicales, como la selva alta, tienden a presentar suelos más intemperizados y pobres en fósforo disponible. Esto contrasta con las condiciones edáficas posiblemente más favorables de los sitios estudiados en Argentina. Aunque no se

observaron diferencias estadísticas significativas entre las especies, las variaciones en los valores absolutos podrían indicar que *S. inclinata* muestra una leve ventaja en la captación o utilización del fósforo, posiblemente ligada a su estrategia de crecimiento. Por otro lado, *P. minor* y *D. nitens*, con valores ligeramente menores, podrían priorizar estrategias que favorezcan la persistencia foliar a largo plazo.

Tabla 20. Análisis de la varianza para el fósforo foliar (%) de tres especies arbóreas.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Bloques	0,002	4	0,000	0,765	0,577ns
Especies	0,001	2	0,000	0,765	0,497ns
Error aleatorio	0,005	8	0,001		
Total	0,008	14			

CV (%): 23,61%. ns: No existen diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$).

4.3. Correlación de la composición química orgánica y los caracteres funcionales foliares de tres especies arbóreas

4.3.1. Correlación de los caracteres foliares y composición química de la especie

D. nitens

Para esta especie no se encontraron correlaciones significativas entre el área foliar y los componentes químicos %C, %N o %P (p-valores mayores a 0,05), con el peso fresco muestra una correlación negativa perfecta y significativa con %P (correlación de -1, p-valor de 0,0455), lo que indica que a medida que el peso fresco aumenta, el porcentaje de fósforo disminuye significativamente (**Tabla 21**). No se encontraron correlaciones significativas con el peso seco a pesar de que Ibarra (1985) reporta que el área foliar es determinante de la biomasa acumulada, este resultado pudiera llegar a ser significativo posiblemente cuando se eleve el tamaño de la muestra (López, 2022) a que a pesar de que solamente se utilizó cinco repeticiones el p-valor se fue de 0,07, muy cercano a nivel de confianza del 0,05 y el grado de relación fue elevado ya que se acercó a la unidad. El área foliar específica presenta una correlación negativa alta y significativa con %P (correlación de -0,9, p-valor de 0,0377), sugiriendo que un aumento en el área foliar específica está asociado con una disminución significativa en el porcentaje de fósforo. En resumen, los datos indican que el fósforo (%P) tiene una relación inversa significativa con el peso fresco en *D. nitens*, mientras que no se encontraron correlaciones significativas con los porcentajes de carbono (%C) y nitrógeno (%N).

Tabla 21. Correlación de los caracteres foliares y composición química de la especie *D. nitens*.

Variable (1)	Variable (2)	n	Spearman	p-valor	Decisión
Área foliar (cm ²)	%C	5	0,5	0,3173	No existe correlación
	%N	5	-0,6	0,2301	No existe correlación
	%P	5	-0,7	0,1615	No existe correlación
Peso fresco (g)	%C	5	0,6	0,2301	No existe correlación
	%N	5	-0,9	0,0719	No existe correlación
	%P	5	-1	0,0455	Existe correlación
Peso seco (g)	%C	5	0,7	0,1615	No existe correlación
	%N	5	-0,7	0,1615	No existe correlación
	%P	5	-0,9	0,0719	No existe correlación
Área foliar específica (cm ² /g)	%C	5	-0,6	0,2301	No existe correlación
	%N	5	0,1	0,8415	No existe correlación
	%P	5	0,2	0,6892	No existe correlación

C: Carbono; N: Nitrógeno; P: Fósforo; n: cantidad de árboles.

4.3.2. Correlación de los caracteres foliares y composición química de la especie *P. minor*

Para esta especie no se encontraron correlaciones significativas entre el área foliar y los componentes químicos %C, %N o %P (p-valores mayores a 0,05), no se encontraron correlaciones significativas entre el peso fresco y los componentes químicos %C, %N o %P (p-valores mayores a 0,05), no se encontraron correlaciones significativas entre el peso seco y los componentes químicos %C, %N o %P (p-valores mayores a 0,05), no se encontraron correlaciones significativas entre el área foliar específica y los componentes químicos %C, %N o %P con p-valores mayores a 0,05 (**Tabla 22**).

En el presente estudio, los resultados revelaron que no existen correlaciones significativas entre los caracteres foliares (área foliar, peso fresco, peso seco y área foliar específica) y la composición química (%C, %N, %P) en *P. minor*, lo que indica una posible independencia funcional entre estas variables en la muestra analizada. Esto contrasta con estudios como la de López (2022), donde se confirmó una fuerte correlación entre rasgos funcionales foliares, incluyendo características morfológicas y químicas. La discrepancia podría relacionarse al contexto ambiental, las especies estudiadas o el tamaño de

la muestra, factores que deben considerarse cuidadosamente en este tipo de análisis. La ausencia de correlaciones significativas en este caso podría reflejar una diversidad funcional intrínseca de *P. minor*, donde los rasgos morfológicos y químicos operan de manera independiente para adaptarse a diferentes presiones ambientales. Esta independencia funcional también podría deberse a estrategias específicas de esta especie para balancear su eficiencia fotosintética y su composición química frente a las limitaciones de recursos en su hábitat.

Laughlin et al. (2010) y Freschet et al. (2010) sugieren que, en ausencia de correlaciones claras, es necesario ampliar el tamaño de la muestra y considerar incluir rasgos adicionales, como características del tallo o del sistema radicular. Estas ampliaciones permitirían comprender mejor la relación funcional entre diferentes órganos de la planta. En este sentido, incluir el análisis de la densidad del tallo o las propiedades de absorción radicular podría aportar evidencias más robustas sobre la independencia o interdependencia funcional entre órganos.

Tabla 22. Correlación de los caracteres foliares y composición química de la especie *P. minor*.

Variable (1)	Variable (2)	n	Spearman	p-valor	Decisión
Área foliar (cm ²)	%C	5	-0,3	0,5485	No existe correlación
	%N	5	-0,7	0,1615	No existe correlación
	%P	5	-0,7	0,1615	No existe correlación
Peso fresco (g)	%C	5	-0,1	0,8415	No existe correlación
	%N	5	-0,5	0,3173	No existe correlación
	%P	5	-0,5	0,3173	No existe correlación
Peso seco (g)	%C	5	0,6	0,2301	No existe correlación
	%N	5	-0,9	0,0719	No existe correlación
	%P	5	-0,9	0,0719	No existe correlación
Área foliar específica (cm ² /g)	%C	5	-0,9	0,0719	No existe correlación
	%N	5	0,4	0,4237	No existe correlación
	%P	5	0,4	0,4237	No existe correlación

C: Carbono; N: Nitrógeno; P: Fósforo; n: cantidad de árboles.

4.3.3. Correlación de los caracteres foliares y composición química de la especie *S. inclinata*

No se encontraron correlaciones significativas entre el área foliar y los componentes químicos %C, %N o %P (p-valores mayores a 0,05); no se encontraron correlaciones significativas entre el peso fresco y los componentes químicos %C, %N o %P; no se encontraron correlaciones significativas entre el peso seco y los componentes químicos %C, %N o %P, área foliar específica y %N, correlación alta (0,90) con un p-valor de 0,0719, lo cual no es significativo, pero destaca una relación potencial que podría ser significativa con un tamaño de muestra mayor (**Tabla 23**). Estas relaciones fueron significativas en otras especies como lo reportó Pérez et al. (2012), donde sus resultados indicaron que el nitrógeno en hojas está positivamente correlacionado con el área foliar específica, lo que sugiere que las hojas con mayor contenido de nitrógeno tienen una mayor capacidad para desarrollar una estructura foliar más delgada y eficiente en la captación de luz. Este reporte es consistente con estudios que indican que el nitrógeno en las hojas contribuye significativamente a mejorar la eficiencia fotosintética y, por ende, al crecimiento de las plantas.

Ibarra (1985) y Kucharik et al. (1998) argumentan que el área foliar está estrechamente asociada con la ganancia de biomasa acumulada, lo que respalda la posibilidad de que exista una relación subyacente entre los caracteres foliares y la composición química de las hojas. En este caso, los resultados mostraron un p-valor de 0,07 para las correlaciones entre el área foliar y los pesos fresco y seco, lo cual está muy cerca del nivel de confianza estándar (0,05). Además, el grado de relación entre estas variables alcanzó un coeficiente de correlación de 0,90, lo que indica una relación fuerte, aunque no estadísticamente significativa en esta muestra limitada de cinco repeticiones.

López (2022) destaca que, al trabajar con pequeñas muestras, los patrones reales entre las variables pueden no detectarse debido a la insuficiencia de datos para estabilizar las métricas estadísticas. Por lo tanto, ampliar el tamaño de muestra sería una estrategia clave para confirmar si estas correlaciones son consistentes y estadísticamente significativas. Estos hallazgos subrayan la complejidad de las interacciones entre los rasgos foliares y la composición química. Por ejemplo, la relación entre el área foliar específica y el %N podría ser reflejo de una estrategia adaptativa de la planta para optimizar la captura de recursos, donde hojas con mayor área foliar específica podrían tener una mayor concentración de nitrógeno para maximizar la eficiencia fotosintética. Por otra parte, la falta de correlación entre otros rasgos foliares y los componentes químicos sugiere que factores adicionales, como la genética de la planta o las condiciones ambientales, también influyen en estas relaciones.

Tabla 23. Correlación de los caracteres foliares y composición química de la especie *S. inclinata*.

Variable (1)	Variable (2)	n	Spearman	p-valor	Decisión
Área foliar (cm ²)	%C	5	-0,6	0,2301	No existe correlación
	%N	5	-0,6	0,2301	No existe correlación
	%P	5	-0,45	0,4502	No existe correlación
Peso fresco (g)	%C	5	-0,5	0,3173	No existe correlación
	%N	5	-0,7	0,1615	No existe correlación
	%P	5	-0,45	0,4502	No existe correlación
Peso seco (g)	%C	5	-0,5	0,3173	No existe correlación
	%N	5	-0,7	0,1615	No existe correlación
	%P	5	-0,45	0,4502	No existe correlación
Área foliar específica (cm ² /g)	%C	5	0,6	0,2301	No existe correlación
	%N	5	0,9	0,0719	No existe correlación
	%P	5	0,78	0,1176	No existe correlación

C: Carbono; N: Nitrógeno; P: Fósforo; n: cantidad de árboles.

V. CONCLUSIONES

1. Se determinaron los caracteres funcionales foliares en las especies *S. inclinata*, *P. minor* y *D. nitens*. Se encontraron diferencias en los valores promedios de cada carácter foliar entre las especies, pero estas diferencias no resultaron estadísticamente significativas, el porcentaje de materia seca foliar fue mayor en *D. nitens* 4,59% en comparación con *P. minor* 4,06% y *S. inclinata* 3,04%. Sin embargo, la falta de significancia estadística ($p > 0,05$) sugiere que se requieren estudios adicionales con un mayor tamaño de muestra para confirmar estas tendencias y explorar las posibles causas de la variabilidad observada.
2. Respecto a la composición química orgánica, Se encontraron diferencias en los valores promedios de cada elemento entre las especies, pero estas diferencias no fueron estadísticamente significativas, *S. inclinata* mostró un mayor contenido promedio de nitrógeno 3,43% en comparación con *P. minor* y *D. nitens*, ambas con 2.91%. La falta de significancia estadística ($p > 0,05$) se debe a la variabilidad natural dentro de cada especie o a la influencia de factores ambientales no controlados como el clima y la gradiente altitudinal.
3. Solamente se registró correlación significativa y negativa entre el peso fresco con el contenido de fósforo en las hojas de *D. nitens* (ρ : -1,00 y p-valor: 0,0455), mientras que en *P. minor* y *S. inclinata* no hubo correlación de la composición química orgánica y los caracteres funcionales foliares. La ausencia de correlaciones significativas en la mayoría de los casos indica una independencia funcional entre estas variables o la necesidad de un mayor tamaño de muestra para detectar correlaciones más sutiles.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Realizar estudios en donde se correlacionan las características químicas de los suelos con los componentes químicos de las hojas que presentan las especies arbóreas del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.
2. Realizar estudios relacionales en donde se analizan el contenido de los elementos químicos encontrados en las hojas de cada especie arbórea en relación con los valores del diámetro a la altura del pecho ya que no se tiene la edad de los individuos, una manera de aproximarse a esta variable pudiera ser vincular el contenido de nutrientes de las hojas con el DAP y también considerando un mayor tamaño de muestra.
3. Usar como un factor determinante a la gradiente altitudinal y relacionarlo con los elementos químicos contenidos en las hojas de ciertas especies que poseen una distribución amplia a nivel altitudinal.
4. En estudios similares se debe realizar análisis de regresión entre los caracteres funcionales foliares y la composición química orgánica de las especies arbóreas.
5. Considerar en estudios parecidos como una variable de suma importancia la medición de los factores lumínicos para fortalecer las conclusiones.
6. Realizar estudios de nivel explicativo en donde se busque la relación causal de las propiedades químicas sobre los rasgos funcionales de las especies arbóreas.

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>
- Aguirre-Gutiérrez, J., Malhi, Y., Lewis, S. L., Fauset, S., Adu-Bredu, S., Affum-Baffoe, K., & Rifai, S. W. (2020). Functional traits driving species richness and composition in tropical forests along a disturbance gradient. *Journal of Ecology*, 108(5), 1896-1910.
- Alvarado-Hernández, A., Chaves-Corea, R., Chacón-Madrugal, E., Rodríguez-Alfaro, W., y Blanco-Montero, F. (2022). Diagnóstico foliar de nutrientes de nueve especies forestales tropicales de tres pisos altitudinales en Centro América. *Agronomía Costarricense*, 46(1), 25-45. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/ac/v46n1/0377-9424-ac-46-01-25.pdf>
- Álvarez, Y., Álvarez, E., Cano, J., y Suescún, D. (2012). Modelo matemático para estimar área foliar en árboles del bosque tropical seco en el Caribe colombiano. *Revista del Instituto de Investigaciones Tropicales*, 7(1), 69-79. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4866003>
- Antúnez, I., Retamosa, E.C., & Villar, R. 2001. Relative growth rate in phylogenetically related deciduous and evergreen woody species. *Oecologia*, 128, 172-180.
- Asner, G. P., y Martín, R. E. (2015). Convergent elevation trends in canopy chemical traits of tropical forests. *Global Change Biology*, 22(6), 2216-2227. <https://doi.org/10.1111/gcb.13164>
- Ayala, F. (2003). *Taxonomía Vegetal. Gimnospermas y Angiospermas de la Amazonía Peruana*. CETA.
- Berendse, F., de Kroon, H., & Braakhekke, W. (2007). Acquisition, Use and Loss of Nutrients. En F. Pugnaire; F. Valladares (eds). *Functional Plant Ecology*. CRC Press. 748 p.
- Brako, L., y Zarucchi, L. (1993). *Catálogo de las angiospermas y gimnospermas del Perú*. Missouri Botanical Garden.
- Calvo, M., Silva, F.J., Rozados, M. J., Díaz, M., Rodríguez, P., y Duo, I. (2005). El índice de área foliar (LAI) en masas de abedul (*Betula celtiberica* rothm. et vasc.) en Galicia. *Cuadernos De La Sociedad Española De Ciencias Forestales*, 1(20), 111-116. <https://doi.org/10.31167/csef.v0i20.9524>

- Chapin, F. S., Schulze, E. D., & Mooney, H. A. (1990). The ecology and economics of storage in plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 21, 423-447.
- Chave, J., Coomes, D., Jansen, S., Lewis, S. L., Swenson, N., & Zanne, A. (2009). Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecology Letters*, 12(4), 351-366. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01285.x>
- Ciciarelli, M. M., Passarelli, L. M., y Rolleri, C. H. (2017). Caracteres foliares en diez especies neotropicales y argentinas de Canna (Cannaceae, Zingiberales). *Boletín De La Sociedad Argentina De Botánica*, 52(1), 89-106. <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v52.n1.16912>
- Condit, R., Aguilar, S., Hernández, A., Pérez, R., Lao, S., & Pyke, C. (2005). Spatial changes in tree composition of high-diversity forests: How much is predictable? En E. Bermingham, C. Dick, C. Moritz, *Tropical rainforest: Past, present and future*. London: The University of Chicago Press.
- Condit, R., Pitman, N., Leigh Jr, E., Chave, J., Terborg, J., y Foster, R. (2002). Beta-Diversity in tropical forest tree. *Science*, 295, 666-669.
- Cornelissen, J. H. C., Castro-Díez, P. & Hunt, R. (1996). Seedling growth, allocation and leaf attributes in a wide range of woody plant species and types. *Journal of Ecology*, 84(5), 755-765. <https://doi.org/10.2307/2261337>
- Cornelissen, J. H. C., Lavorel, S., Garnier, E., Díaz, S., Buchmann, P., Gurvich, D. E., Reich, P. B., Steege, H., Morgan, H. D., Heijden, M. G. A., Pausas, J. G., & 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. <https://doi.org/10.1071/BT02124>
- Cuesta, F., Tovar, C., Llambí, L. D., Gosling, W. D., & Carilla, J. (2017). Monitoreo de diversidad vegetal y carbono en bosques andinos. *Protocolo Extendido*, 2(1), 94-108.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., y Robledo, C. W. (1999). *InfoStat versión 2017*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>.
- Díaz, E. (2018). *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 posgrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS.
- Díaz, S., & Cabido, M. (1997). Plant functional types and ecosystem function in relation to global change. *Journal of Vegetation Science*, 8, 463-474.

- Díaz, S., Cabido, M., Zak, M., Martinez, E., y Aranibar, J. (1999). Plant functional traits, ecosystem structure and land-use history along a climatic gradient in central-western Argentina. *Journal of Vegetation Science*, 10, 651-660.
- Díaz, S., Kattge, J., Cornelissen, J., Wright, I., Lavorel, S., Dray, S., & Garnier, E. (2016). The global spectrum of plant form and function. *Nature*, 529(7585), 167-171. DOI: <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>
- Dietze, M. C., Sala, A., Carbone, M. S., Czimczik, C. I., Mantooth, J. A., Richardson, A. D., & Vargas, R. (2014). Nonstructural carbon in woody plants. *Annual Review of Plant Biology*, 65, 667-687
- Domínguez, A. (2021). Respuesta ecofisiológica de árboles tropicales ante el cambio climático: sequía y temperatura. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 9(1), 140-157. <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/657>
- Fajardo, A., & Piper, F. (2010). Intraspecific trait variation and covariation in a widespread tree species (*Nothofagus pumilio*) in southern Chile. *New Phytologist*, 189, 259-271.
- Felsenstein, J. (1985). Phylogenies and the comparative method. *The American Naturalist*, 25(1), 1-15.
- Freschet, G. T., Cornelissen, J. H. C., Van Logtestijn, R. S. P. & Aerts, R. (2010). Evidence of the “plant economics spectrum” in a subarctic flora. *Journal of Ecology*, 98(2), 362-373. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2009.01615.x>
- Garnier, E., Navas, M.-L., & Grigulis, K. (2015). *Plant Functional Diversity: Organism traits, community structure, and ecosystem properties*. Oxford University Press.
- Grime, J. P. (1979). *Plant strategies and vegetation processes*. J. Wiley & Sons.
- 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* [Tesis de pregrado, Universidad de La Salle]. Repositorio institucional Lasalle. <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1098&context=biologia>
- Hannah, L., Lovejoy, T., & Schneider, S. (2005). Biodiversity and Climate Change in context. En T. Lovejoy, L. Hannah (eds). *Climate change and Biodiversity*. Yale University.

- Hernández, A., Valdez, J. R., Ángeles, G., de los Santos, H. M., Hernández, J., Peduzzi, A., y Carrero, O. (2021). Medición del índice de área foliar y su dinámica estacional en plantaciones de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(63), 114-137. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v12n63/2007-1132-remcf-12-63-114.pdf>
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6 ed). McGraw-Hill.
- Holdridge, L. R. (1987). *Ecología basada en zonas de vida*. Agroamerica.
- Hooper, D.U., Chapin, F. S., Ewel, J. J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., Lawton, J. H., Lodge, D. M., Loreau, M., Naeem, S., Schmid, B., Seta, H., Symstad, A., Vandermeer, J., & Wardle D. A. (2005). Effects of Biodiversity on Ecosystem Functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, 75(1), 3-35.
- Hubbell, S. P. (2005). Neutral theory in community ecology and the hypothesis of functional equivalence. *Functional Ecology*, 19, 166-172.
- Lago, M. A. (2019). *Ecuaciones alométricas de especies dominantes usando sistema integrado field map en la parcela permanente de monitoreo n° 4 del bosque reservado UNAS Tingo María* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/a7d186e4-b355-4f5a-b511-9891ef35e4be>
- Laughlin, D. C., Leppert, J. J., Moore, M. M. & Sieg, C. H. (2010). A multi-trait test of the leaf-height-seed plant strategy scheme with 133 species from a pine forest flora. *Functional Ecology*, 24(3), 493-501. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2009.01672.x>
- 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., y Lebreton, J.-D. (1999). Functional Groups for Response to Disturbance in Mediterranean Old Fields. *Revista Oikos*, 84(3), 480-498. <https://doi.org/10.2307/3546427>
- Leps, J., Bello, F., Lavorel, S. & Berman, S. (2006). Quantifying and interpreting functional diversity of natural communities: practical considerations matter. *Preslia*, 78, 481-501.
- Lieberman, D., Lieberman, M., Peralta, R., & Hartshorn, G. (1996). Tropical forest structure and composition on a large scale altitudinal gradient in Costa Rica. *Journal of Ecology*, 84(2), 137-152.

- Lima, M., Pereira, E., Macedo, J. N., Costa, C. R., Roque, M. D., Cordeiro, B., Reis, L. R., Rocha, W. B., Dambrós, D., Cortelini, R., Silva, L. F., Martins, M. N., & Júnio, H. (2022). Spatial variability of the productive capacity of teak (*Tectona grandis* Linn F.) plantations in the eastern Amazonia. *AJCS*, *16*(10), 1193-1202. https://www.cropj.com/santos_16_10_2022_1193_1202.pdf
- López, L. G. (2022). Relaciones entre rasgos funcionales de plantas en bosques secundarios altoandinos de la Cordillera Oriental, Colombia. *Biota Colombiana*, *23*(2), 1-13. <https://doi.org/10.21068/2539200X.1008>
- Mace, G. M., Norris, K., & Fitter, A. H. (2012). Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship. *Trends in Ecology & Evolution*, *27*(Issue1), 19-26. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.07.003>
- Magurran, A. (1988). *Diversidad Ecológica y su medición*. Ediciones Vedral.
- Maharjan, S. K., Poorter, L., Holmgren, M., Bongers, F., Wieringa, J. J. & Hawthorne, W. D. (2011). Plant functional traits and the distribution of West African rain forest trees along the rainfall gradient. *Biotropica*, *43*, 552-5
- Malhi, Y., Silman, M., Salinas, N., Bush, M., Meir, P., & Atchi, S. (2010). Introduction: Elevation gradients in the tropics: laboratories for ecosystem ecology and global change research. *Global Change Biology*, *16*, 3171-3175.
- Martin-López, B., Gonzalez, J., Diaz, S., Castro, I., y García, M. (2007). Biodiversidad y bienestar humano: el papel de la diversidad funcional. *Ecosistemas*, *16*(3), 69-80.
- Mengel, K., & Kirkby, E. (1987). *Principles of plant nutrition*. International Potash Institute.
- Montagnini, F., & Jordan, C. (2005). *Tropical forest ecology. The basis for conservation and management*. Springer.
- Niinemets, Ü., Keenan, T., & Hallik, L. (2015). A worldwide analysis of within-canopy variations in leaf structural, chemical, and physiological traits across plant functional types. *New Phytologist*, *205*, 973–993. doi: 10.1111/nph.13096
- 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>
- Pearcy, R. (2007). Responses of plants to heterogeneous light environments. En F, Pugnaire; F, Valladares (eds). *Functional Plant Ecology*. CRC Press.
- Pérez, A.J., Hernández, C., Romero-Saltos, H., y Valencia, R. (2014). *Árboles emblemáticos de Yasuní, Ecuador. Pourouma minor*. Version 2019.0. Bioweb. <https://bioweb.bio/floraweb/arbolesyasuni/FichaEspecie/Pourouma%20minor>, acceso Miércoles, 22 de Enero de 2025.

- Pérez-Harguindeguy, N., Díaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P., & Cornelissen, J. H. C. (2013). New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, *61*(3), 167-234.
- Pérez, J. A., García, E., Enríquez, J. F., Quero, A. R., Pérez, J., y Hernández, A. (2012). Análisis de crecimiento, área foliar específica y concentración de nitrógeno en hojas de pasto "mulato" (*Brachiaria híbrido*, cv.). *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, *42*(3), 447 - 458.
<https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/1397>
- Petchey, O., & Gaston, K. (2006). Functional diversity: back to basics and looking forward. *Ecology Letters*, *9*, 741-758.
- Poorter, H., & Villar, R. (1997). The fate of acquired carbon in plants: chemical composition and construction costs. *Resource allocation in plants*, *1*, 39-72.
www.science.poorter.eu/1997_poorter&villar_pra.pdf
- Poorter, H., Niinemets, Ü., Ntagkas, N., Siebenkäs, A., Mäenpää, M., Matsubara, S., & Pons, T. (2019). A meta-analysis of plant responses to light intensity for 70 traits ranging from molecules to whole plant performance. *New Phytologist*, *223*(3), 1073-1105.
- Poorter, L., Castilho, C. V., Schiatti, J., Oliveira, R. S., & Costa, F. R. C. (2021). Functional traits and forest dynamics: Lessons from tropical forests. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, *52*, 243-266.
- Pulgar, J. (1987). *Geografía del Perú: las ocho regiones naturales, la regionalización transversal, la microregionalización*. Peisa.
- Reich, P. (2014). The world-wide 'fast-slow' plant economics spectrum: a traits manifesto. *Journal of Ecology*, *102*, 275-301. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12211>
- Reich, P. B., Walters, M. B., Ellsworth, D. S., Vose, J. M., Volin, J. C., Gresham, C., & Bowman, W. D. (1998). Relationships of Leaf Dark Respiration to Leaf Nitrogen, Specific Leaf Area and Leaf Life-Span: A Test across Biomes and Functional Groups. *Oecologia*, *114*(4), 471-482. <http://www.jstor.org/stable/4221957>
- Ríos, G. (2008). *Caracterización dendrología de los árboles del bosque reservado de la universidad nacional agraria de la selva, Perú* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/90c51e78-d3b4-4300-8366-fce2a2a44934/content>

- Rojas-Jimenez, K., y Gutiérrez, M. V. (2012). Relaciones hídricas en árboles del bosque tropical seco: el caso de *Enterolobium cyclocarpum*. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 8(20), 1-8. <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/373>
- Rozendaal, D. M. A., Hurtado, U. A., & Poorter, L. (2020). Plasticity in leaf traits of tropical tree species along a rainfall gradient in Panama. *Oecologia*, 193(2), 421-432.
- Salgado-Negret, B., Pulido-Rodríguez, N., Cabrera, M., Ruíz-Osorio, C., y 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). Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Sánchez Fonseca, C., Lama, D., y Suatunce Cunuhay, P. (2008). Hojas caídas y aporte de nutrientes de diez especies forestales tropicales. *Ciencia y Tecnología*, 1(2), 73-78. <https://doi.org/10.18779/cyt.v1i2.72>
- Sayer, J. A., Vanclay, J. K. y Byron, N. (1997). Technologies for sustainable forest management: challenges for the 21st century. *The Commonwealth Forestry Review*, 76(3), 162-170. <http://www.jstor.org/stable/42608586>
- Schulze, E., Beck, E., & Muller, K. (2002). *Plant Ecology*. Springer.
- Schupp, E., Milleron, T., & Russo, S. (2002). Dissemination limitation and the origin and maintenance of species-rich tropical forests. En D. Levey, W. Silva, M. Galetti. *Seed dispersal and frugivory: ecology, evolution and conservation*.
- Supo, J. (2014). *Seminarios de investigación científica: Metodología de la investigación para las ciencias de la salud*. Bioestadístico.
- Swenson, H., & Enquist, B. (2007). Ecological and evolutionary determinants of a key plant functional trait: wood density and its community-wide variation across latitude and elevation. *American Journal of Botany*, 94(3), 451-459.
- Swenson, N., Anglada-Cordero, P., & Barone, J. (2011). Deterministic tropical tree community turnover: evidence from patterns of functional beta diversity along an elevation gradient. *Proceedings of the Royal Society B*, 278, 877-884.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2002). *Plant physiology*. Sinauer associates.
- Terborgh, J., Pitman, N., Silman, M., Schichter, H., & Núñez, P. (2002). Maintenance of tree diversity in tropical forests. En D. Levey, W. Silva, M. Galetti, *Seed dispersal and frugivory: ecology, evolution and conservation*. Brasil: CABI.
- The World Flora Online [WFO]. (2025). *Dacryodes nitens* Cuatrec. WFO. <http://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0000636763>

- Tilman, D. (2001). Diversity functional. *Encyclopedia of biodiversity*, 3, 109-120.
- Tilman, G. (1984). Plant dominance along an experimental nutrients gradient. *Ecology*, 65, 1445-1453.
- Toledo, M., Poorter, L., Peña-Claros, M., Alarcon, A., Balcazar, J., & Leño, C. (2010). Climate and soil drive forest structure in Bolivian lowland forests. En M. Toledo, *Neotropical lowland forests along environmental gradients*. Thesis, Wageningen University, NL.
- Tuomisto, H., Ruokolainen, K., Aguilar, M., y Sarmiento, A. (2003). Floristic patterns along a 43 km long transect in an Amazonian rain forest. *Journal of Ecology*, 1, 743-756.
- Universidad Nacional Agraria de la Selva [UNAS]. (2017). *Informe de datos meteorológicos de precipitaciones*. Gabinete de Climatología y Meteorología, UNAS.
- Vendramini, F., Díaz, S. M., Pérez, N., Cabido, M. R., Llano, J. M., y Castellanos, A. (2000). Composición química y caracteres foliares en plantas de distintos tipos funcionales del centro-oeste de Argentina. *Kurtziana*, 28(2), 181-193. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/35004/CONICET_Digital_Nro.3c958c10-3ee7-416a-994a-ef78eb43d675_D.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- Wright, I. J., Dong, N., Maire, V., Prentice, I. C., Westoby, M., Díaz, S., Gallagher, R. V., Jacobs, B. F., Kooyman, R., Law, E. A., Leishman, M. R., Niinemets, Ü., Reich, P. B., Sack, L., Villar, R., Wang, H., & Wilf, P. (2017). Global climatic drivers of leaf size. *Science*, 357(6354), 917-921. <https://doi.org/10.1126/science.aal4760>. PMID: 28860384.
- Wright, J., Reich, P., Westoby, M., Ackerly, D., Baruch, Z., Bongers, F., Cavender-Bares, J., Chapin, T., Cornelissen, J., Diemer, M., & Villar, R. (2004). The worldwide leaf economics spectrum. *Nature*, 428, 821-827.
- Zelada, H., y Reynel, C. (2019). Estimación de rasgos funcionales en dos especies arbóreas de una gradiente altitudinal tropical en el Centro de Perú. *Revista Forestal Del Perú*, 34(2), 132-143. <https://doi.org/10.21704/rfp.v34i2.1323>

ANEXOS

Anexo A. Base de datos

Tabla 24. Matriz de datos de los caracteres funcionales foliares de tres especies arbóreas.

Bloque	SP	Largo(cm)	Ancho(cm)	Área foliar(cm ²)	%MS	Área foliar específica (cm ² / g)
1	1	26,80	10,74	203,48	4,035	126,423
1	2	31,00	12,30	292,1	4,911	147,476
1	3	20,94	8,54	136,676	1,982	153,538
2	1	27,60	10,90	220,214	3,801	121,542
2	2	33,44	13,20	341,436	5,955	127,995
2	3	22,70	8,70	134,642	2,008	147,571
3	1	26,70	10,36	203,272	4,253	119,957
3	2	28,40	12,66	293,002	4,675	128,443
3	3	27,20	9,66	191,78	2,568	132,610
4	1	26,36	10,52	201,054	3,827	139,653
4	2	28,80	12,14	281,084	4,724	171,153
4	3	28,00	9,98	195,226	3,144	137,393
5	1	27,84	11,10	241,604	4,373	137,727
5	2	26,44	9,94	180,31	2,674	136,642
5	3	33,80	14,36	250,134	5,503	126,312

sp: Especies arbóreas (1: *Pourouma Minor*; 2: *Dacryodes Nitens*; 3: *Senefeldera Inclinata*)**Tabla 25.** Matriz de datos del carbono, nitrógeno y fósforo de tres especies arbóreas.

Nombre científico	Bloque	%C	%N	%P
<i>Pourouma minor</i>	1	38,47	2,3	0,073
<i>Dacryodes nitens</i>	1	40,26	2,58	0,084
<i>Senefeldera inclinata</i>	1	47,24	3,64	0,124
<i>Pourouma minor</i>	2	38,67	2,13	0,06
<i>Dacryodes nitens</i>	2	42,71	2,46	0,082
<i>Senefeldera inclinata</i>	2	48,37	3,58	0,124
<i>Pourouma minor</i>	3	39,42	3,47	0,129
<i>Dacryodes nitens</i>	3	37,18	3,42	0,097
<i>Senefeldera inclinata</i>	3	32,63	3,14	0,089
<i>Pourouma minor</i>	4	37,91	3,53	0,134
<i>Dacryodes nitens</i>	4	36,48	2,52	0,093
<i>Senefeldera inclinata</i>	4	34,25	3,42	0,124
<i>Pourouma minor</i>	5	31,49	3,14	0,102
<i>Dacryodes nitens</i>	5	38,23	3,58	0,128
<i>Senefeldera inclinata</i>	5	35,64	3,36	0,112

CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE LAS ESPECIES ARBOREAS EN CAMPO

Se verificó árboles en la PPM^o04 – Bosque Reservado UNAS, las que pertenecen a las especies que se indican en el cuadro siguiente y a su vez están distribuidas según el modelo estadístico que aplicó en su proyecto de Tesis.

Tesisista: Bach. Maxiuler Juan Aguirre Campos	Especies <ul style="list-style-type: none">• <i>Dacryodes nitens</i> Cuatrec• <i>Pourouma minor</i> Benoist• <i>Senefeldera inclinata</i> Müll.Arg	Título de la Tesis CARACTERES FUNCIONALES FOLIARES Y COMPOSICIÓN QUÍMICA ORGÁNICA DE TRES ESPECIES ARBÓREAS DE UN BOSQUE DE SELVA ALTA DE TINGO MARÍA, HUÁNUCO, PERÚ
---	---	---

Se expide el presente para fines correspondientes.

Tingo María 28 de enero de 2025.



M. Sc. Warren Ríos García.

Profesor de Dendrología FRNR- UNAS

Figura 12. Constancia de verificación de las especies arbóreas.



UNIVERSIDAD AGRARIA DE LA SELVA

TINGO MARIA

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACIÓN



ANÁLISIS

SOLICITANTE : AGUIRRE CAMPOS, Maxiuler Juan

LUGAR : Parcela permanente de medición (PPM) N°04_Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS)

N°	CODIGO		DATOS DE LA MUESTRA					C	N	P
	Cod.	Año	N° de Faja / N° de muestra	Nombre científico	Familia	N° de árbol	Cod. Sol.			
1	ICP 007	2024	1 / Muestra 1	Pourouma Minor	Vochysiaceae.	F2	M1	38.470	2.300	0.073
2	ICP 008	2024	1 / Muestra 2	Dacryodes Nitens	Burseraceae	F4	M2	40.260	2.580	0.084
3	ICP 009	2024	1 / Muestra 3	Senefieldera Inclinata	Euphorbiaceae	33	M3	47.240	3.640	0.124
4	ICP 010	2024	2/ Muestra 4	Pourouma Minor	Vochysiaceae.	F16	M4	38.670	2.130	0.060
5	ICP 011	2024	2/ Muestra 5	Dacryodes Nitens	Burseraceae	F1	M5	42.710	2.460	0.082
6	ICP 012	2024	2/ Muestra 6	Senefieldera Inclinata	Euphorbiaceae	F5	M6	48.370	3.580	0.124
7	ICP 013	2024	3/ Muestra 7	Pourouma Minor	Vochysiaceae.	F11	M7	39.420	3.470	0.129
8	ICP 014	2024	3/ Muestra 8	Dacryodes Nitens	Burseraceae	F12	M8	37.180	3.420	0.097
9	ICP 015	2024	3/ Muestra 9	Senefieldera Inclinata	Euphorbiaceae	F3	M9	32.630	3.140	0.089
10	ICP 016	2024	4/ Muestra 10	Pourouma Minor	Vochysiaceae.	F8	M10	37.910	3.530	0.134
11	ICP 017	2024	4/ Muestra 11	Dacryodes Nitens	Burseraceae	F13	M11	36.480	2.520	0.093
12	ICP 018	2024	4/ Muestra 12	Senefieldera Inclinata	Euphorbiaceae	F16	M12	34.250	3.420	0.124
13	ICP 019	2024	5/ Muestra 13	Pourouma Minor	Vochysiaceae.	F4	M13	31.490	3.140	0.102
14	ICP 020	2024	5/ Muestra 14	Dacryodes Nitens	Burseraceae	F3	M14	38.230	3.580	0.128
15	ICP 021	2024	5/ Muestra 15	Senefieldera Inclinata	Euphorbiaceae	F5	M15	35.640	3.360	0.112

Fecha : 21/05/2024

Recibo N°: 46570

Ing. Melchor Soria Iturri
CIP: 244231
Director del LCI-UNAS

Figura 13. Reporte del contenido de carbono, nitrógeno y fósforo en las hojas de tres especies arbóreas.



Figura 14. Ubicación del área de investigación.



Figura 15. Redimensionamiento de la parcela permanente de muestreo.



Figura 16. Determinación de las coordenadas de la especie arbórea.



Figura 17. Colecta de las muestras de hojas de las especies arbóreas.



Figura 18. Acondicionamiento de las muestras de hojas colectadas.



Figura 19. Muestras de hojas rotuladas de las especies arbóreas en el laboratorio.



Figura 20. Evaluación de las hojas rotuladas de las especies arbóreas en el laboratorio.



Figura 21. Determinación del área foliar de las hojas de las especies arbóreas en el laboratorio.



Figura 22. Medición del área foliar en el laboratorio.



Figura 23. Determinación de la longitud de las hojas de las especies arbóreas en el laboratorio.



Figura 24. Pesaje de hojas frescas en la balanza de precisión.



Figura 25. Pesaje de hojas secas en la balanza de precisión.