

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL

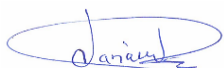


**COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DEL SUELO Y DEL
VOLUMEN TOTAL EN TRES PARCELAS PERMANENTES DE MEDICIÓN DEL
BOSQUE RESERVADO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA
SELVA, TINGO MARÍA**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO FORESTAL


Dr. Casiano Aguirre Escalante
Asesor

PRESENTADO POR:

KYARA JUNET LOPEZ ESTEBAN


M. Sc. Brayan Andre
Caldas De La Cruz
Asesor

Tingo María – Perú

2026



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María- Perú
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°070-2026-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 22 de mayo de 2026, a horas 11:00 a.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería en Forestal de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

“COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DEL SUELO Y DEL VOLUMEN TOTAL EN TRES PARCELAS PERMANENTES DE MEDICIÓN DEL BOSQUE RESERVADO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA, TINGO MARÍA”

Presentado por la Bachiller: **LOPEZ ESTEBAN, KYARA JUNET** 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 FORESTAL** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 12 de junio de 2026

Ing. MSc. RAÚL ARAUJO TORRES
PRESIDENTE

Ing. MSc. JOSÉ ANTONIO DIONISIO ARMAS
MIEMBRO

Ing. MSc. MARIBEL FLORA ROCA CAPCHA
MIEMBRO

Ing. MSc. BRAYAN ANDRE CALDAS DE LA CRUZ
ASESOR

Dr. CASIANO AGUIRRE ESCALANTE
ASESOR



UNAS

VICERRECTORADO DE
INVESTIGACIÓNINSTITUTO DE
INVESTIGACIÓNUNIDAD DE SOPORTE
CIENTÍFICO
REPOSITORIO INSTITUCIONAL

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

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N 198 - 2026 - CS-RIDUNAS

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

CERTIFICA QUE:

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

Programa de Estudio:

Ingeniería Forestal

Tipo de documento:

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

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE	
		SIMILITUD	CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL
COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DEL SUELO Y DEL VOLUMEN TOTAL EN TRES PARCELAS PERMANENTES DE MEDICIÓN DEL BOSQUE RESERVADO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA, TINGO MARÍA	KYARA JUNET LOPEZ ESTEBAN	08 % Ocho	Menor a 20 %

Tingo María, 01 de julio de 2026.


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO
ING. EINSTEIN A. ORTIZ MORALES
JEFE

C.C. Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



PROYECTO DE TESIS

Título del proyecto de tesis	: COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DEL SUELO Y DEL VOLUMEN TOTAL EN TRES PARCELAS PERMANENTES DE MEDICIÓN DEL BOSQUE RESERVADO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA, TINGO MARÍA
Área de investigación	: Gestión de Bosques y Plantaciones Forestales
Grupo de investigación	: Gestión de Bosques y Plantaciones Forestales
Línea de investigación	: Biomasa y ecología forestal
Autor	: Kyara Junet Lopez Esteban
Asesores de tesis	: Mg. Sc. Ing. Brayan André Caldas de la Cruz Dr. Ing. Casiano Aguirre Escalante
Lugar de ejecución	: Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva
Duración del trabajo	: 6 meses
Financiamiento	: S/ 6 379,45
FIF	: NO
Propio	: SÍ
Otros	: NO

Tingo María – Perú, 2026



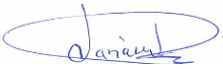
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN OFICINA DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO UNIVERSITARIO, INVESTIGACIÓN DOCENTE Y TESISISTA

I. Datos Generales de Pregrado

Universidad	:	Universidad Nacional Agraria de la Selva
Facultad	:	Facultad de Recursos Naturales Renovables
Escuela Profesional	:	Ingeniería Forestal
Título de la Tesis	:	Comparación de las propiedades físicoquímicas del suelo y del volumen total en tres parcelas permanentes de medición del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria De La Selva, Tingo María.
Autor	:	Kyara Junet Lopez Esteban
DNI	:	75517449
Correo electrónico	:	kyara.lopez@unas.edu.pe
Asesores	:	M. Sc. Brayan Andre Caldas De La Cruz Dr. Casiano Aguirre Escalante
Programa de investigación	:	Gestión de bosques y plantaciones forestales
Línea de investigación	:	Biomasa y ecología forestal
Eje temático	:	Ecología forestal
Lugar de ejecución	:	Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS)
Duración	:	Inicio : 22 de julio del 2024 Termino : 22 de enero del 2025
Financiamiento	:	FEDU : S/. 0.00 Propio : S/. 6 379,45 Otros : S/. 0.00

Tingo María, Perú, 2026


Dr. Casiano Aguirre Escalante
Asesor


Kyara Junet Lopez Esteban
Tesisista


M. Sc. Brayan Andre
Caldas De La Cruz
Asesor

DEDICATORIA

A mi madre, pilar firme e inquebrantable en mi vida.

Su fortaleza y entrega me han enseñado el verdadero significado de la perseverancia.

Has sido mi mayor inspiración y la guía constante en cada uno de mis pasos, incluso en los momentos más difíciles.

Gracias por enseñarme a no rendirme ante la adversidad y por demostrarme, con tu ejemplo, el valor de la valentía y la constancia.

Este logro es tanto mío como tuyo, porque sin tu apoyo incondicional y tu confianza en mí, no habría sido posible alcanzarlo.

Con profundo amor y eterna gratitud.

AGRADECIMIENTOS

- Agradezco a Dios por los regalos de la vida y cada oportunidad que ha puesto en mi camino, por darme la fortaleza necesaria para llegar hasta aquí.
- A mi madre, Ida Bianca Esteban Tolentino, por ser el cimiento de mi vida. Tu amor incondicional y su fortaleza inquebrantable han sido mi mayor sostén en los momentos más difíciles y el ejemplo que me inspira a seguir adelante cada día; este logro también lleva tu nombre.
- A mi hermano, Jeanpier López Esteban, por su compañía y la alegría que aporta a mi vida. Tu confianza en mí y tu manera de acompañarme, siempre auténtica, han sido un impulso silencioso pero constante para seguir adelante.
- A mi amiga de toda la vida, Hilary Ramos Marrujo, gracias por caminar a mi lado en cada etapa, por escucharme, tus palabras de aliento en los momentos de incertidumbre y tu presencia invariable a lo largo del tiempo.
- A mi pareja, Justo Izquierdo Domínguez, por ser un apoyo incondicional en cada momento, por su infinita paciencia, su comprensión sincera y por acompañarme con amor y fortaleza en cada etapa de este proceso; sin ti, este camino no habría sido el mismo.
- Finalmente, a todas aquellas personas que, de una u otra manera, contribuyeron a la culminación de este trabajo, les expreso mi más sincero y profundo agradecimiento.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Marco teórico	3
2.1.1. Suelo.....	3
2.1.2. Propiedades del suelo	3
2.1.3. Calidad del suelo	8
2.1.4. Factores que afectan la productividad.....	8
2.1.5. Variables dasométricas.....	9
2.1.6. Crecimiento de plantas	10
2.1.7. Bosque.....	11
2.1.8. Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva	12
2.1.9. Parcela permanente de monitoreo	12
2.1.10. Dinámica del bosque	15
2.1.11. Clases silviculturales	16
2.2. Estado del arte	16
2.2.1. Internacional.....	16
2.2.2. Nacional	18
2.2.3. Local.....	19
III. MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1. Lugar de ejecución	21
3.1.1. Ubicación política	21
3.1.2. Ubicación geográfica	21
3.1.3. Clima	22
3.1.4. Fisiografía	22
3.2. Materiales y métodos	23
3.2.1. Materiales y equipos	23
3.2.2. Metodología	24
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
4.1. Determinación y comparación de las propiedades fisicoquímicas del suelo en tres parcelas permanentes de medición ubicadas en colina baja y colina alta	28
4.1.1. Propiedades físicas	28
4.1.2. Propiedades químicas.....	29

4.2. Estimación y contrastación del volumen total por hectárea en cada parcela permanente de medición	32
4.3. Contribución volumétrica de las familias arbóreas en las parcelas permanentes de medición	33
V. CONCLUSIONES	37
VI. PROPUESTAS A FUTURO	38
VII.REFERENCIAS	39
ANEXOS	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Clase textural, densidad aparente y porosidad.....	4
2. Salinidad.....	5
3. Potencial de hidrógeno.....	6
4. Clasificación de capacidad de intercambio catiónico.....	6
5. Niveles de nitrógeno en el suelo.....	7
6. Porcentaje de la materia orgánica.....	8
7. Número de parcelas por superficie.....	15
8. Coordenadas geográficas de las parcelas en estudio.....	21
9. Unidad fisiográfica de las parcelas permanente de monitoreo del BRUNAS.....	25
10. Propiedades físicas del suelo en las parcelas permanentes de medición.....	28
11. Propiedades químicas del suelo en las parcelas permanentes de medición.....	30
12. Volumen total de árbol en pie por unidad fisiográfica y por hectárea.....	32
13. Volumen total de árbol en pie en la parcela permanente de medición 1 (PPM1).....	33
14. Volumen total de árbol en pie en la parcela permanente de medición 2 (PPM2).....	34
15. Volumen total de árbol en pie en la parcela permanente de medición 3 (PPM3).....	35
16. Cálculo de volumen de árbol en pie.....	49
17. Número de familias y especies forestales por parcela.....	49
18. Diámetro promedio por familia de la PPM 1.....	50
19. Diámetro promedio por familia de la PPM 2.....	50
20. Diámetro promedio por familia de la PPM 3.....	51
21. Especies más abundantes de la PPM 1.....	52
22. Especies más abundantes de la PPM 2.....	53
23. Especies más abundantes de la PPM 3.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Ubicación de las parcelas permanentes de medición.....	22
2. Puntos de muestreo de suelo por parcela permanente de monitoreo.	25
3. Subparcelas de una parcela permanente de medición para evaluación de fustales y árboles maduros.	26
4. Proporción de arena, limo y arcilla en el suelo de las parcelas permanentes de medición. .	29
5. Porcentaje de materia orgánica, nitrógeno y carbono orgánico.....	31
6. Porcentaje de contribución volumétrica por familia en la PPM1.....	34
7. Porcentaje de contribución volumétrica por familia en la PPM2.....	35
8. Porcentaje de contribución volumétrica por familia en la PPM3.....	36
9. Medición de diámetro altura de pecho.	55
10. Determinación de la altura total.....	55
11. Muestreo de suelo.....	56
12. Homogeneización de la muestra de suelo.....	56
13. Visita de supervisión del jurado en campo.	57

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar las propiedades fisicoquímicas del suelo y volumen maderable en tres parcelas permanentes de medición (PPM) ubicadas en colina baja y colina alta del BRUNAS, el estudio fue de tipo aplicado, con enfoque cuantitativo y nivel descriptivo, incorporando además un análisis cualitativo para la clasificación textural del suelo. Los resultados evidenciaron que los suelos son de textura franco arcilloso arenoso, y una reacción fuertemente ácida (pH entre 3,25 y 3,39), con contenidos medios de materia orgánica (2,91%–3,46%) y nitrógeno total (0,145%–0,173%), el fósforo mostró niveles bajos, mientras que el potasio varió de moderado a alto. Asimismo, se registraron valores elevados de aluminio intercambiable y una capacidad de intercambio catiónico efectiva de baja a media, lo que indica limitaciones químicas en la fertilidad del suelo. Estas condiciones fueron más marcadas en las parcelas ubicadas en colina alta, debido a procesos de lixiviación. En cuanto al volumen total, la PPM2 (colina baja) presentó el mayor valor (495,64 m³/ha), seguida de la PPM1 (451,44 m³/ha) y PPM3 (429,32 m³/ha), evidenciando la influencia de las condiciones edáficas en la productividad forestal. Asimismo, se determinó que la contribución volumétrica está dominada por las familias Euphorbiaceae y Fabaceae, por lo que se concluyó que la variación en las propiedades del suelo condicionada por la topografía, influye en el volumen del bosque y en la dinámica estructural de las especies.

Palabras clave: unidad fisiográfica, topografía, fertilidad del suelo, productividad forestal.

**A COMPARISON OF THE PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF THE SOIL
AND THE TOTAL VOLUME FOR THREE PERMANENT MEASUREMENT PLOTS
FROM THE BOSQUE RESERVADO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
DE LA SELVA IN TINGO MARIA**

ABSTRACT

The objective of the research was to evaluate the physicochemical properties of the soil and the timber volume for three permanent measurement plots (PPM – acronym in Spanish) located on the low hills and high hills of the BRUNAS (acronym in Spanish) [in Peru]. The study was of an applied type, with a quantitative focus and descriptive level, also incorporating a qualitative analysis for the textural classification of soil. The results evidenced that the soils were of a loamy clay sand texture, with a strongly acidic reaction (pH between 3.25 and 3.39), with average organic matter contents (2.91% - 3.46%) and total nitrogen (0.145% - 0.173%); the phosphorous proved to have low levels, while the potassium varied from moderate to high. At the same time, elevated values of exchangeable aluminum and an effective cation exchange capacity [that was] low to average were recorded, which indicated [that there were] chemical limitations for the soil fertility. These conditions were more marked for the plots located in the high hills due to the leaching processes. With respect to the total volume, PPM2 (low hills) presented the greatest value (495.64 m³/ac), followed by PPM1 (451.44 m³/ac) and PPM3 (429.32 m³/ac), evidencing the influence that the edaphic conditions had on the forest productivity. At the same time, it was determined that the volumetric contribution was dominated by the Euphorbiaceae and Fabaceae families, due to which, it was concluded that the variation in the soil properties, conditioned by the topography, influenced the volume of the forest and the structural dynamic of the species.

Keywords: physiographic unit, topography, soil fertility, forest productivity.

I. INTRODUCCIÓN

En los bosques tropicales, la estructura y productividad arbórea están estrechamente relacionadas con las condiciones edáficas, particularmente con las características físicas y químicas del suelo, estas influyen directamente en la disponibilidad de nutrientes, la retención de humedad, la aireación y el desarrollo radicular, factores indispensables para el crecimiento y acumulación de biomasa de las especies arbóreas.

El Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS), representa un escenario estratégico para la investigación, debido a la presencia de diferentes unidades fisiográficas, entre las que destacan la colina baja y la colina alta, estas unidades presentan variaciones en sus condiciones edáficas y en la disposición estructural y diversidad de la vegetación. Por lo cual, las parcelas permanentes de medición (PPM) constituyen herramientas fundamentales para el seguimiento y evaluación de los recursos forestales, permitiendo generar información continua y confiable. Asimismo, a pesar de la disponibilidad de estas parcelas, se observa una escasez de investigaciones que aborden de manera conjunta la comparación de las propiedades físico-químicas del suelo y volumen total en pie en distintas unidades fisiográficas; esta limitación impide comprender con mayor detalle la influencia del suelo en la productividad forestal, restringiendo así la formulación de estrategias adecuadas para el manejo sostenible del bosque.

El presente trabajo tiene como interrogante ¿Qué diferencias existen en las propiedades físico-químicas del suelo y el volumen total en pie entre parcelas permanentes de medición ubicadas en colina baja y alta del BRUNAS, Tingo María? Y se plantea como hipótesis: existen diferencias estadísticas en las propiedades físico-químicas del suelo y el volumen total en pie entre parcelas permanentes de medición ubicadas en colina baja y colina alta del BRUNAS, Tingo María. El propósito de esta investigación es analizar y comparar dichas variables, con el fin de aportar información técnica que contribuya a una gestión forestal más eficiente, al aprovechamiento sostenible de los recursos maderables y al fortalecimiento de las estrategias de conservación. Asimismo, los resultados permitirán identificar posibles relaciones entre las características del suelo y la productividad del bosque, generando bases científicas para futuras investigaciones, para los cuales se plantean los objetivos siguientes:

Objetivo general

- Comparar las propiedades fisico-químicas del suelo y el volumen total en parcelas permanentes de medición, ubicadas en colina baja y colina alta del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María.

Objetivos específicos

- Determinar y comparar las propiedades fisico-químicas del suelo en tres parcelas permanentes de medición ubicadas en colina baja y colina alta.
- Estimar y contrastar el volumen total por hectárea en cada parcela permanente de monitoreo.
- Determinar la contribución volumétrica de las familias arbóreas en las parcelas permanentes de medición.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. Suelo

Representa un sistema dinámico conformado por componentes minerales y orgánicos, junto con agua, aire y organismos vivos, que sustentan el crecimiento de las especies vegetales (Brady & Weil, 2017). El suelo cumple funciones esenciales como soporte físico, suministro de nutrientes, regulación hídrica y almacenamiento de carbono en los sistemas forestales.

El suelo es un recurso clave para la sostenibilidad de los ecosistemas forestales, ya que influye directamente en la productividad, biodiversidad y resiliencia frente a disturbios (Food and Agriculture Organization & Intergovernmental Technical Panel on Soils [FAO & ITPS], 2015). Asimismo, Lal (2016) señala que los suelos forestales ejercen un rol fundamental en la reducción del cambio climático al actuar como sumideros de carbono, especialmente cuando son manejados adecuadamente.

2.1.2. Propiedades del suelo

Comprenden su organización física, y su composición química y biológica, las cuales se encuentran determinadas por la interacción de factores como el material parental, la cobertura vegetal, la topografía y la influencia antrópica (Sepúlveda, 2005). En este contexto, dichas propiedades no solo definen el funcionamiento del suelo, sino que también condicionan la dinámica de la fauna edáfica, ya que variables como la materia orgánica, la humedad, la acidez y la aireación inciden directamente en su desarrollo y distribución (Curry, 1987).

2.1.2.1. Físicas

Describen su estado y comportamiento en relación con el movimiento del agua, el aire y el desarrollo radicular. De acuerdo con Hillel (1998), las más importantes son: textura, densidad aparente, porosidad, humedad del suelo. Según Jury & Horton (2004), estas propiedades controlan procesos como infiltración, retención de agua y aireación, factores determinantes para el crecimiento vegetal.

a) Densidad aparente (Da): Vargas (2009) indica que es un parámetro significativo para describir la calidad y estructura del suelo, cuando la (Da) tiene valores altos, esto indica condiciones limitantes para el desarrollo radicular, caracterizadas por baja aireación y reducida infiltración de agua. El cambio en la (Da) se manifiesta en la variación de la estructura del suelo como consecuencia de la correlación de la densidad aparente y la porosidad (Secretaría de

Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA], 2012). La (Da) del suelo es una propiedad física variable que depende del contenido en materia orgánica, textura, la porosidad y grado de compactación (Sánchez, 2019). Por su lado Doran & Parkin (1994) mencionan que la (Da) del suelo constituye un indicador clave de las condiciones físicas que pueden restringir el desarrollo radicular, ya que está estrechamente relacionada con el grado de compactación; generalmente, este parámetro se sitúa en un rango de 1,0 a 1,7 g/cm³ y tiende a incrementarse conforme aumenta la profundidad del perfil, asimismo, valores elevados de densidad aparente reflejan una mayor compactación, lo que reduce la porosidad del suelo y limita la penetración de las raíces, afectando su función tanto como sistema de soporte como en la absorción de agua y nutrientes.

b) Textura: es la proporción relativa de partículas con diámetro inferior a 2 mm, conocidas como fracción fina, estas partículas se clasifican, según su tamaño, en arena, limo y arcilla (Jaramillo, 2002). Por su lado Zavaleta (1992) menciona cuanto más grandes sean las partículas, más arcillosa será la textura.

$$\% \text{ Arena} + \% \text{ Limo} + \% \text{ Arcilla} = 100\% \quad \text{ecuación 1}$$

c) Porosidad: se refiere a la proporción de espacios vacíos que pueden ser ocupados alternativamente por agua o aire, durante eventos de riego o precipitación, el agua desplaza temporalmente el aire presente en los poros; posteriormente, a medida que el agua se infiltra, se evapora o es absorbida por las plantas, dichos espacios vuelven a ser ocupados por aire (Zavaleta, 1992).

Tabla 1. Clase textural, densidad aparente y porosidad.

Clase textural	Densidad aparente	Porosidad (%)
Arenoso	1,6 a 1,8	30 – 35
Franco arenoso	1,4 a 1,6	35 – 40
Franco	1,3 a 1,4	40 – 45
Franco limoso	1,2 a 1,3	45 – 50
Arcilloso	1,0 a 1,2	50 – 55

Fuente: United States Department of Agriculture ([USDA], 1999).

d) Humedad del suelo: es el contenido de agua disponible para las plantas.

e) Color del suelo: indica que el color de los suelos está directamente relacionado con los componentes sólidos como: materia orgánica, textura, composición mineralógica, morfología (Domínguez *et al.* 2012).

2.1.2.2. Químicas

Las propiedades químicas del suelo comprenden el conjunto de características vinculadas a su constitución y reacciones que ocurren dentro de él, las cuales determinan la disponibilidad de nutrientes y su capacidad para sostener procesos biológicos esenciales. Entre las principales se encuentran el pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC), salinidad, la materia orgánica (MO), contenido de nutrientes, factores que influyen directamente en la productividad (Fassbender & Bornemisza, 2018; Brady & Weil, 2017). Asimismo, estas propiedades regulan las interacciones entre el suelo, las plantas y los microorganismos, controlando la disponibilidad de nutrientes y agua, así como la actividad biológica del suelo. Debido a ello, indicadores como: pH, MO y CIC son ampliamente utilizados para evaluar la condición del suelo, ya que reflejan su capacidad para sustentar los ecosistemas edáficos (Brady & Weil, 2017; Fassbender & Bornemisza, 2018).

a) Conductividad eléctrica (CE): es un indicador utilizado para evaluar la presencia de sales solubles y su posible efecto sobre el desarrollo vegetal, este parámetro expresa la capacidad de la solución del suelo para transportar corriente eléctrica, la cual está directamente relacionada con la concentración de sales disueltas. La CE puede variar espacial y temporalmente, influenciada por factores como la precipitación y las condiciones ambientales (Espinoza *et al.*, 2012). Valores elevados de este indicador reflejan altos niveles de salinidad, lo que puede limitar el crecimiento de las plantas al dificultar la absorción de agua y nutrientes. (estrés osmótico) (FAO & ITPS, 2015).

Tabla 2. Salinidad.

CE (dS/m)	Interpretación de salinidad
Mayor que 0 y menor a 2	No salino
Mayor que 2 y menor a 4	Muy Ligeramente salino
Mayor que 4 y menor a 8	Ligeramente salino
Mayor que 8 y menor a 16	Moderadamente salino
Mayor igual a 16	Fuertemente salino

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes (UNALM, 2018).

b) Potencial de hidrógeno (pH): En zonas con elevada precipitación, el lavado de bases es un proceso predominante que favorece la acidificación del suelo, alcanzando valores de pH entre 4,0 y 6,5. Estas condiciones incrementan la solubilidad de elementos como el aluminio y el manganeso, los cuales, al ser absorbidos por las raíces, pueden generar efectos tóxicos y limitar la disponibilidad de fósforo debido a su fijación en el suelo (SAGARPA, 2012).

Tabla 3. Potencial de hidrógeno.

Rango de pH	Interpretación
Menor que 5,5	Fuertemente ácido
De 5,6 a 6,0	Moderadamente ácido
De 6,1 – 6,5	Ligeramente ácido
De 6,6 a 7,0	Neutro
De 7,1 a 7,8	Ligeramente alcalino
De 7,9 a 8,4	Moderadamente alcalino
Mayor que 8,5	Fuertemente alcalino

Fuente: Soil Survey Staff (1993).

c) Capacidad de intercambio catiónico (CIC): expresa la totalidad de cargas negativas presentes en las superficies de los coloides (arcillas y materia orgánica), las cuales permiten retener e intercambiar cationes como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ y NH_4^+ (Brady & Weil, 2017). Ferreras *et al.* (2007) y Guerrero (2000) refieren que la (CIC) representa la totalidad de cationes intercambiables que el suelo puede retener y poner a disposición, incluyendo H, Ca, Mg, K y Na; además, este atributo constituye un indicador clave de la fertilidad, ya que su incremento favorece la retención y disponibilidad de nutrientes para las plantas. La CIC está influenciada principalmente por el contenido de MO y la textura del suelo; en particular, mayores proporciones de materia orgánica y arcilla tienden a incrementarla. Asimismo, la fracción arcillosa desempeña un papel determinante debido a su relación superficie-volumen, siendo variable la CIC según el tipo de arcilla presente.

La capacidad para intercambiar cationes controla la disponibilidad de los nutrientes utilizados por las plantas, principalmente: calcio, magnesio, potasio, etc. Tiene la finalidad de depurar contaminantes presentes en el suelo, consintiendo su conservación. Asegura la fijeza de los agregados y contribuye en la estructura, porque interfiere en los procesos de espesación y distribución de la arcilla (Ferreras *et al.*, 2007).

Tabla 4. Clasificación de capacidad de intercambio catiónico.

Interpretación	CIC ($\text{Cmol}^{(+)} \text{Kg}^{-1}$)
Muy Alto	$\geq (40)$
Alto	$(25) \leq \text{CIC} < (40)$
Medio	$(15) \leq \text{CIC} < (25)$
Bajo	$(5) \leq \text{CIC} < (15)$
Muy bajo	$< (5)$

Fuente: Soil Survey Staff (1993).

d) Nutrientes esenciales: Los nutrientes esenciales son elementos químicos indispensables para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Entre ellos, los macronutrientes primarios más importantes son el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) (Brady & Weil, 2017).

Tabla 5. Niveles de nitrógeno en el suelo.

Nivel	Rango (%)
Bajo	< 0,1
Medio	0,1 - 0,2
Alto	> 0,2

Fuente: LASPAF – (UNALM, 2018).

e) Materia orgánica (MO): se origina a partir de la descomposición de residuos de origen vegetal y animal, así como de la actividad biológica de los organismos que habitan en él, como microorganismos, lombrices e insectos. Este proceso implica la transformación progresiva de dichos restos mediante mecanismos físicos, químicos y biológicos, tales como la fragmentación, la oxidación y la hidrólisis, además, factores ambientales como la precipitación, el pH del suelo, el viento y las variaciones de temperatura influyen directamente en la dinámica de descomposición y en la estabilización de la materia orgánica. (SAGARPA, 2012). La materia orgánica consiste en restos de plantas como hojas, ramitas, frutos y excrementos de animales grandes que se encuentran en el suelo, así como material vegetal y animal muerto.

La MO del suelo varía en composición y grado de descomposición, incluidos componentes inestables como fúlvicos, húmicos y húmicos, o proteínas, ligninas, carbohidratos y taninos. Se cree que la presencia de materia orgánica en el suelo mejora los parámetros físicos que apoyan el desarrollo de las plantas, incluida la retención de humedad, la formación de agregados, la capacidad de intercambio catiónico, la retención de cationes y los oligoelementos esenciales (FAO, 2005).

La MO del suelo presenta una composición heterogénea y distintos grados de descomposición, incluyendo fracciones como ácidos fúlvicos y húmicos, así como compuestos orgánicos tales como: ligninas, proteínas, taninos y carbohidratos, su presencia contribuye significativamente a la mejora de las propiedades físicas y químicas del suelo, favoreciendo procesos como la retención de humedad, la formación de agregados estables, el incremento de la capacidad de intercambio catiónico y la disponibilidad de cationes y micronutrientes esenciales para el desarrollo vegetal (FAO, 2005).

Tabla 6. Porcentaje de la materia orgánica.

Interpretación	Materia orgánica (%)
Baja	< (2,0)
Medio	(2,0) – (4,0)
Alto	> (4,0)

Fuente: : LASPAF – (UNALM, 2018).

2.1.2.3. Biológicas

En el suelo habita una amplia diversidad de organismos que conforman la fauna edáfica, los cuales desempeñan un papel fundamental en la dinámica de los nutrientes (Gliessman, 2002). Por lo tanto, estos organismos participan activamente en la descomposición de residuos vegetales y en los procesos de respiración del suelo, contribuyendo al reciclaje de la materia orgánica y al mantenimiento de su funcionalidad (Cruz *et al.*, 2004).

Porta *et al.* (2003) lo clasifican en:

- Microorganismos (< 200 μ m).
- Mesoorganismos, (200 μ m - 6 mm).
- Macroorganismos, (> 6 mm).

2.1.3. Calidad del suelo

El concepto de calidad del suelo se asocia con su capacidad para sostener una productividad biológica a largo plazo, manteniendo sus propiedades físicas, químicas y biológicas, al tiempo que minimiza los impactos ambientales y preserva la salud de los ecosistemas (Doran & Parkin, 1994). En este contexto, la interacción compleja entre estas propiedades determina el potencial productivo del suelo, siendo su integración la base para evaluar su calidad (Parr *et al.*, 1992). Asimismo, los indicadores de calidad del suelo pueden agruparse en categorías físicas, químicas, biológicas y visuales, lo que permite una evaluación integral de su estado (Abi-Saab, 2012).

2.1.4. Factores que afectan la productividad

El suelo desempeña un papel determinante en la actividad fisiológica de los árboles y en interacción con la topografía, condiciona la productividad de los ecosistemas forestales. Un adecuado crecimiento en diámetro y altura depende, en gran medida, de condiciones edáficas favorables, tales como una profundidad efectiva que permita el desarrollo radicular, una permeabilidad que garantice la adecuada aireación, una textura que favorezca la retención y disponibilidad de agua, así como la presencia de nutrientes esenciales y la ausencia de factores

limitantes como toxicidad, salinidad o desequilibrios en el pH (Young, 1991). Además, el suelo cumple funciones fundamentales como soporte mecánico, regulación del intercambio de agua y gases, hábitat de organismos y reservorio de nutrientes.

En este contexto, las propiedades físicas adquieren especial relevancia, ya que influyen directamente sobre las características químicas y sobre la capacidad de retención de humedad del suelo, asimismo, en ecosistemas forestales, las limitaciones nutricionales suelen ser menos frecuentes debido a la eficiencia en el reciclaje de nutrientes, incluso bajo condiciones de manejo silvícola (Aber y Melillo, 2001).

2.1.5. Variables dasométricas

2.1.5.1. Diámetro

El diámetro del árbol, medido convencionalmente a altura pecho (1,30 m desde la base del árbol), constituye una de las variables dendrométricas más importantes en la evaluación forestal. Este parámetro no solo permite cuantificar el tamaño de los individuos, sino que también es fundamental para la estimación de variables derivadas como el área basal, el volumen maderable y la biomasa. Asimismo, el diámetro refleja el crecimiento acumulado del árbol y es ampliamente utilizado para analizar la estructura horizontal de los bosques y la dinámica de las poblaciones arbóreas (Husch *et al.*, 2003).

2.1.5.2. Altura

La altura total del árbol comprende la distancia vertical existente entre la base del fuste y el punto más alto de la copa. Esta variable dendrométrica es esencial para evaluar el desarrollo y vigor de los individuos, así como la productividad del sitio. Además, la altura, en combinación con el diámetro, permite estimar el volumen y comprender la competencia por luz dentro del bosque, siendo un indicador clave en estudios de crecimiento, rendimiento y calidad de estación (Husch *et al.*, 2003).

2.1.5.3. Área basal

Corresponde a la sección transversal del fuste de un árbol medida a (1,30 m), incluyendo la corteza, además, este parámetro constituye un indicador de la densidad del bosque, al integrar tanto el número de individuos como su tamaño, asimismo, es considerado un índice relevante de la biomasa existente en un rodal y se calcula a partir del diámetro a la altura del pecho (DAP) (Wadsworth, 2000; Manta, 1998).

2.1.5.4. Volumen

Todo el crecimiento de un árbol se compone no sólo de la parte leñosa, sino también de hojas, frutos, sistema radicular, etc. Por otro lado, una parte considerable del crecimiento se pierde por transpiración. El volumen de un árbol crece desde su nacimiento hasta su muerte en paralelo a su altura y diámetro (Klepac, 1976).

2.1.6. Crecimiento de plantas

El crecimiento de los árboles está determinado por la interacción entre la capacidad genética de la especie y las condiciones del medio ambiente, entre los principales factores que influyen se encuentran los climáticos (temperatura del aire, precipitación, viento e intensidad lumínica), la altitud y latitud, así como las características del suelo, que incluyen sus propiedades físicas y químicas, la disponibilidad de humedad y la actividad de los microorganismos; asimismo, intervienen las condiciones del terreno, como la pendiente, la elevación y el microrrelieve, además de la competencia ejercida por otros árboles, la vegetación secundaria y la fauna. La integración de estos factores define la calidad del sitio (Prodan *et al.*, 1997).

El sitio forestal se configura a partir de la interacción entre el suelo y la atmósfera, cuyos procesos actúan como estímulos que condicionan el crecimiento de los árboles. En este contexto, se pueden identificar los siguientes factores:

2.1.6.1. Factores climáticos

Entre los más relevantes se encuentran la temperatura (máxima y mínima), la precipitación (en términos de cantidad y distribución estacional), los vientos (dirección, intensidad y efectos) y la humedad atmosférica, los cuales condicionan procesos fisiológicos como la fotosíntesis, la transpiración y la respiración vegetal.

2.1.6.2. Los factores edáficos

Estos incluyen la composición mineralógica, que determina la permeabilidad del suelo y del subsuelo; las propiedades físicas de los distintos horizontes; la composición química, que regula la disponibilidad de nutrientes; la presencia de materia orgánica o cubierta muerta (humus) y su naturaleza; así como la actividad biológica del suelo, representada por organismos como bacterias y hongos, que cumplen un papel fundamental en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes (Mackay, 2002).

El crecimiento de los árboles es influenciado por diversos factores, entre ellos: la competencia entre individuos por recursos como luz, agua y nutrientes, siendo este uno de los factores más susceptibles de manejo mediante prácticas silviculturales. Asimismo, las especies forestales presentan diferentes requerimientos de luz, conocidos como temperamento, que determinan su comportamiento frente a la radiación solar; así, algunas especies requieren plena exposición (heliófilas), mientras que otras se desarrollan mejor bajo condiciones de sombra (esciófilas), lo cual influye directamente en su establecimiento y desarrollo (Smith *et al.*, 1997; Lamprecht, 1990).

2.1.7. Bosque

El Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre ([SERFOR], 2017) lo define como ecosistemas caracterizados por el predominio de árboles y una cobertura mínima de 0,5 ha y con densidad de copas no menor al 10 % de su superficie. En estos sistemas se desarrollan especies arbóreas que alcanzan alturas mínimas de 2 metros en su estado adulto en las regiones de la costa y la sierra, y de 5 metros en la región amazónica. Asimismo, los bosques integran componentes bióticos y abióticos, tales como el suelo, el agua, la vegetación, la fauna silvestre y los microorganismos, los cuales interactúan de manera dinámica, conformando sistemas funcionales capaces de mantenerse y proveer diversos bienes y servicios ecosistémicos.

Los bosques y los árboles constituyen recursos esenciales para la economía, los medios de vida y el bienestar de las poblaciones rurales, su importancia es particularmente significativa para los pueblos originarios, los pequeños agricultores, las comunidades asentadas en zonas aledañas a los bosques y aquellas que dependen de los árboles fuera de las áreas forestales. En este contexto, los sistemas forestales contribuyen de manera directa a la seguridad alimentaria, la generación de ingresos y la sostenibilidad de los medios de vida (FAO, 2010).

Los bosques constituyen sistemas ecológicos complejos donde predominan especies arbóreas y otras formas de vegetación leñosa, destacándose por su alta acumulación de biomasa, organización estructural y riqueza biológica, su clasificación responde a distintos criterios, entre los que destacan las condiciones climáticas, la composición florística y el funcionamiento ecológico de cada sistema. En el ámbito global, es común distinguir tres grandes tipos: los bosques de regiones frías o boreales, dominados principalmente por coníferas y adaptados a bajas temperaturas; los bosques de zonas templadas, caracterizados por la coexistencia de especies caducifolias y perennifolias bajo una marcada estacionalidad; y los bosques tropicales, reconocidos por su elevada diversidad y alta productividad, los cuales se diferencian en

húmedos, secos y montanos en función de la precipitación y la altitud (Dixon et al., 1994; Global Forest Resources Assessment, 2020).

2.1.8. Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva

Se trata de un bosque típico de la Selva Alta y una de las zonas forestales menos alteradas de Leoncio Prado. Sirve de hogar a una plantación de *Cedrelinga cateniformis* (tornillo), la más antigua de América del Sur, establecida en 1950 (Burgos, 1955). Fisiográficamente el área se sitúa en una altitud que oscila entre los 667 y los 1 092 m.s.n.m., y se identifican tres unidades: colina baja con una superficie de: 22,91 ha, colina alta 150,74 ha que representan el área más grande del área, finalmente, existe una zona montañosa de 43,57 hectáreas. La pendiente tiene valores superiores al 25% (Puerta, 2007).

En abril de 1942 se estableció en Tingo María una estación experimental agrícola como resultado de un convenio entre el Estado peruano y los Estados Unidos de América. En la actualidad, dentro del área conocida como BRUNAS, se encuentran diversas especies forestales de importancia, entre las que destacan *Cedrelinga cateniformis* (tornillo) y *Hevea brasiliensis* (shiringa). *Aniba perutilis* (moena), *Cecropia sciadophylla* (cetico), *Pseudosenefeldera inclinata* (huangana caspi), *Dipteryx micrantha* (shihuahuaco), *Bellucia pentamera* (manzanita tropical), *Miconia barbeyana* (paliperro). Asimismo, se realizaron talas de árboles con fines de investigación, a lo que se suma la extracción previa efectuada por la población local. Estas intervenciones dieron lugar a la remoción de volúmenes considerables de madera, provocando la reducción significativa de la cobertura forestal (Marcos, 1997).

2.1.9. Parcela permanente de monitoreo

Las parcelas permanentes de medición constituyen unidades de muestreo instaladas con carácter permanente y sometidas a mediciones repetidas en intervalos definidos, con el propósito de generar información confiable sobre el crecimiento, la mortalidad, el reclutamiento y otros procesos ecológicos del bosque, facilitando así la comprensión de su dinámica y el apoyo a la toma de decisiones en la gestión forestal (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza [CATIE], 2000).

Para monitorear de manera efectiva un rodal forestal, es importante la creación de áreas/parcelas de muestreo permanentes y/o temporales para observar continuamente las variables dasométricas y el estado fitosanitario (FAO, 2010).

De acuerdo con la duración de los estudios, se distinguen dos tipos de parcelas que responden a objetivos distintos y pueden complementarse entre sí; en este sentido, ambos tipos

pueden ser establecidos tanto en bosques naturales al igual que en plantaciones forestales (Vanclay, 1994).

2.1.9.1. Parcela permanente de monitoreo

Una parcela permanente de medición es un área delimitada dentro del bosque que se establece con el propósito de realizar evaluaciones repetidas en el tiempo sobre los mismos individuos arbóreos, permitiendo analizar cambios en variables como el crecimiento, la mortalidad, el reclutamiento y la dinámica estructural del ecosistema. Este tipo de parcelas constituye una herramienta fundamental para el monitoreo de los bosques por tiempo prolongado y la interacción de sus procesos ecológicos (Alder & Synnott, 1992).

Constituye la unidad básica de muestreo, cuyo tamaño se define en función de los objetivos del estudio, su finalidad es facilitar la medición y el monitoreo continuo del crecimiento y desarrollo de los árboles contenidos en su interior a lo largo del tiempo, considerando un periodo de evaluación que está condicionado por la edad de rotación de la especie, el tipo de producto esperado (FAO, 2008).

Condit (1989) y Anderson-Teixeira *et al.* (2015) mencionan que se trata de unidades de muestreo georreferenciadas destinadas al seguimiento sistemático de los ecosistemas forestales, en las cuales los árboles son evaluados periódicamente mediante mediciones sucesivas. Este procedimiento permite analizar procesos como el crecimiento, la mortalidad, la regeneración y las respuestas al manejo silvicultural, constituyendo una base fundamental para investigaciones sobre productividad, diversidad biológica y dinámica del cambio climático. En cuanto a su diseño, estas parcelas pueden presentar distintas configuraciones y tamaños, desde unidades rectangulares o cuadradas de entre 0,25 y 1 ha empleadas en inventarios forestales nacionales, hasta parcelas de gran extensión como las impulsadas por el programa Center for Tropical Forest Science – ForestGEO, orientadas a estudiar patrones de diversidad y procesos ecológicos a múltiples niveles taxonómicos.

Por otra parte Phillips *et al.* (2009) y Malhi *et al.* (2015) afirman que la relevancia de estas parcelas radica en su capacidad para generar información de tipo longitudinal, lo que permite modelar el crecimiento forestal y la dinámica del carbono, así como validar datos provenientes de sensores remotos y respaldar la formulación de estrategias de manejo y conservación. En este sentido, resultan herramientas fundamentales para comprender la respuesta de los bosques frente a perturbaciones tanto naturales como de origen antrópico.

Mientras que Condit (1989) y Brien *et al.* (2015) mencionan que su implementación y evaluación deben cumplir con ciertos criterios fundamentales, entre ellos la representatividad ecológica y espacial del sitio, la estandarización de los procedimientos metodológicos, la continuidad en el tiempo de los monitoreos y la posibilidad de integrar variables complementarias, como las características del suelo, la microfauna y la fauna asociada.

2.1.9.2. Forma y tamaño

La FAO (2004) menciona que el tamaño de las parcelas se determina en función del número de árboles a evaluar o del área establecida en unidades de superficie (m^2), en cuanto a su configuración, esta puede variar según el tipo de estudio por ejemplo, en inventarios de diagnóstico dentro de plantaciones comerciales, es frecuente el uso de parcelas temporales de forma circular o rectangular mientras que para parcelas permanentes en plantaciones con distanciamientos uniformes, se prefieren diseños rectangulares o cuadrados, debido a que facilitan su localización, delimitación permanente y la consistencia en la medición de los árboles a lo largo del tiempo.

El tamaño de las parcelas se establece en función de los objetivos de la investigación, el producto esperado y las variables a evaluar, tanto en parcelas temporales como permanentes, es común emplear unidades de $500 m^2$ con forma rectangular, generalmente con dimensiones de $20 \times 25 m$, orientadas siguiendo la pendiente del terreno. No obstante, cuando las plantaciones superan los 15 años o han sido sometidas al menos a dos intervenciones silviculturales, como raleos, se recomienda ampliar el tamaño de las parcelas hasta $1\,000 m^2$, con el fin de conservar una densidad representativa de individuos dentro de la unidad de muestreo. Asimismo, el área muestreada debe corresponder, como mínimo, al 10% de la superficie total (FAO, 2008).

De acuerdo con Ugalde (2005), el número de parcelas a instalar en un ensayo o experimento está condicionado principalmente por el tipo y la cantidad de tratamientos, el número de repeticiones y las restricciones propias del área de estudio. En el caso de parcelas permanentes establecidas en programas de reforestación a escala comercial, cuyo propósito es estimar y proyectar el rendimiento en diferentes sectores de una finca, la definición del número adecuado de unidades de muestreo resulta más compleja. Esto se debe a la influencia de factores como el material genético empleado, las prácticas de manejo aplicadas y la heterogeneidad de las condiciones del sitio. Asimismo, se sugiere que, para superficies superiores a 100 ha, el número de parcelas se determine en función de la raíz cuadrada del área total reforestada.

El tamaño de la parcela ya sea definido en función del número de árboles y/o del área y varía según los objetivos de estudio, el tipo de utilidad forestal esperado y variables que se desean evaluar. En el caso de estudios experimentales, este también puede estar condicionado por el diseño experimental adoptado. En ese sentido, el tamaño de las parcelas puede oscilar desde unidades mínimas, donde un solo árbol constituye la parcela experimental, o grupos de (seis a ocho árboles), hasta parcelas de mayor extensión que incluyen varias decenas de individuos, especialmente en estudios de parcelas permanentes en bosques naturales o plantaciones comerciales.

Tabla 7. Número de parcelas por superficie.

Superficie (ha)	Número de parcelas
1 a < 5	2
5 a < 25	2 – 6
25 a < 50	6 – 8
50 a < 100	8 – 10
100 a < 250	10-15
250 a < 500	15 - 20
500 a < 1000	20 - 25

2.1.10. Dinámica del bosque

De acuerdo con Norden *et al.* (2015), la dinámica de los bosques se entiende como el conjunto de cambios que ocurren en la estructura y composición de los ecosistemas forestales neotropicales a lo largo del proceso de sucesión ecológica, en el que intervienen interacciones complejas entre especies y variaciones en su abundancia. Este comportamiento presenta un alto grado de variabilidad, ya que puede diferir notablemente incluso entre parcelas cercanas que comparten antecedentes similares en cuanto a uso del suelo, condiciones climáticas y estado inicial.

Según Frelich (2016), la dinámica de los bosques se refiere a las transformaciones que experimentan la estructura del rodal, la composición de especies y las interacciones entre estas, en respuesta a los disturbios y a las condiciones ambientales a diferentes escalas espaciales, desde el nivel de un árbol individual hasta el paisaje en su conjunto; además, estos procesos están condicionados por la interacción entre los rasgos funcionales de las especies arbóreas y la naturaleza e intensidad de los disturbios. Cuando existe correspondencia entre ambos factores, es posible que se mantenga la composición original del bosque; en cambio, cuando se produce un desajuste, se desencadenan procesos de sucesión ecológica.

2.1.11. Clases silviculturales

Los sistemas silviculturales, también denominados regímenes o métodos de manejo forestal, comprenden un conjunto de prácticas orientadas a la regeneración del bosque mediante la intervención planificada sobre su estructura. Estas acciones implican la manipulación del rodal, que puede incluir la remoción parcial o total de los árboles maduros, el establecimiento de una nueva cohorte de individuos y la aplicación de tratamientos destinados a generar condiciones adecuadas para la regeneración. Entre los sistemas más comunes se encuentran la tala rasa con reforestación, las cortas en franjas, entre otros. Su propósito fundamental es dirigir y optimizar los procesos naturales del bosque, favorecer el establecimiento de plántulas y asegurar, a largo plazo, la producción de madera de calidad (Pommerening *et al.*, 2024).

Por su parte Trentanovi *et al.* (2023) señalan que las clases silviculturales constituyen categorías estandarizadas empleadas para clasificar los distintos sistemas de manejo forestal, con el propósito de unificar criterios terminológicos en investigaciones relacionadas con la biodiversidad. Dentro de esta clasificación se incluyen prácticas como la tala rasa, la tala rasa con retención, los sistemas de cortas de protección y los sistemas de selección.

2.2. Estado del arte

2.2.1. Internacional

Xiao *et al.* (2023) evaluaron el impacto de 12 especies de árboles nativos sobre las propiedades del suelo en zonas con desertificación rocosa (carst) en la provincia de Hunan. Compararon los perfiles del suelo de las áreas restauradas con terrenos sin cultivar (sucesión natural). La vegetación restaurada aumentó significativamente la biodiversidad del sotobosque y la fertilidad del suelo en comparación con las tierras no cultivadas. Se identificó que el Magnesio (Mg), el Zinc (Zn) y el Potasio (K) son los nutrientes más críticos que determinan la salud del suelo en este entorno hostil, y se recomendó el uso de bosques caducifolios de hoja ancha para optimizar la conservación de agua y suelo.

Vandana *et al.* (2023) llevaron a cabo una investigación con el objetivo de analizar cómo distintos sistemas de uso de la tierra influyen en las propiedades físicoquímicas del suelo en el distrito de Krishna, India, para ello, recolectaron muestras en diversos tipos de uso del suelo como áreas de cultivo convencional, plantaciones, bosques, frutales y hortalizas considerando dos profundidades (0–15 cm y 15–30 cm). Los resultados evidenciaron mayor densidad aparente (1,58 Mg/m³) y densidad de partículas (2,7 Mg/m³) que se registraron en el horizonte más profundo (15 a 30 cm), y en el superficial (0 - 15 cm) de suelos cultivados se observaron

los valores más altos de capacidad de retención de agua (49,70%) y porosidad (48,68%). Por su parte, los suelos bajo cobertura forestal presentaron el mayor contenido de carbono orgánico, con valores de 0,77% y 0,71% en los horizontes de 0–15 cm, 15–30 cm, respectivamente. Asimismo, las mayores concentraciones de nitrógeno (280,17 kg/ha), fósforo (18,63 kg/ha), potasio (212,65 kg/ha) y azufre (8,64 mg/kg) se registraron en la capa superficial, variando según el tipo de uso del suelo (bosque, huertos, frutales y cultivos).

Darro *et al.* (2022) evaluaron la variabilidad de las propiedades fisicoquímicas del suelo bajo diferentes tipos de cobertura forestal en un ecosistema tropical seco de la India, consideraron cuatro tipos de bosque: (bosque mixto; bosque mixto de sal; 2 bosques mixtos de teca), muestrearon suelo de (0–20 cm, 20–40 cm y 40–60 cm de profundidad). Obtuvieron que el pH varió entre 5,43 en el bosque mixto y 6,13 en el bosque mixto de teca, mientras que la conductividad eléctrica osciló entre 0,04 dS m⁻¹ (bosque mixto de sal) y 0,32 dS m⁻¹ (bosque mixto de teca). El contenido de carbono orgánico en la capa superficial (0–20 cm) presentó valores entre 11,5 y 17,8 Mg ha⁻¹, siendo mayor en el bosque mixto de sal y menor en el bosque mixto de teca. Asimismo, se observó que el carbono orgánico y la conductividad eléctrica disminuyen con la profundidad del suelo, mientras que la densidad aparente presenta un comportamiento inverso.

En cuanto a los nutrientes, los valores oscilaron entre 160,2–196,9 kg ha⁻¹ para nitrógeno, 10,4–17,7 kg ha⁻¹ para fósforo y 266,4–439,1 kg ha⁻¹ para potasio, registrándose mayores concentraciones en el bosque mixto de sal y menores en el bosque mixto de teca. De manera general, los nutrientes tienden a disminuir con el incremento de la profundidad.

Telles Antonio *et al.* (2021) analizaron la relación entre el crecimiento en volumen de una plantación de *Gmelina arborea* de tres años y las características edáficas y topográficas en Tlatlaya, México, para ello, evaluaron 26 variables del suelo incluyendo materia orgánica, nitratos y cationes y 3 variables topográficas (altitud, pendiente y profundidad efectiva) en ocho parcelas permanentes de medición, desarrollaron un modelo matemático que explicó el 71,6% de la variabilidad del volumen total, identificando como variables determinantes la conductividad hidráulica, el contenido de nitratos y la relación calcio/magnesio. Asimismo, determinaron que el crecimiento de la especie se reduce significativamente en suelos compactados, con densidades aparentes superiores a 0,9 g/cm³. En cuanto a las condiciones del sitio, reportaron valores de materia orgánica de 2,67%, fósforo de 6,94 ppm, potasio de 118,2 ppm, pH de 6,5 y CIC 16,65 cmol⁽⁺⁾/kg, a una altitud promedio de 694 m.s.n.m.

Calderón-Medina *et al.* (2018) investigaron las propiedades químicas, físicas y biológicas en tres sistemas: bosque secundario, sistema agroforestal (SAF) y pradera de *Brachiaria decumbens*. Muestrearon de: 0-10 cm y 10-40 cm para medir parámetros como pH, aluminio intercambiable (AIH), densidad aparente (DA), porosidad y conteo de hongos, bacterias y actinomicetos obteniendo una calidad química moderada con el pH más alto (5,30) y menor AIH (1,02 Cmol/kg) debido al manejo del cultivo, pero mostró baja calidad física por una alta densidad aparente. El bosque, aunque tuvo baja calidad química por su acidez natural (oxisoles), mostró la mejor calidad física y mayor presencia de microorganismos (actinomicetos y hongos micorrícicos) que facilitan la absorción de fósforo.

García (2016) determinó la calidad del suelo en función de sus parámetros físico-químicos, en un ambiente degradado por deforestación en sectores del cantón Jipijapa, Ecuador. El estudio se desarrolló en un bosque semihúmedo tropical, donde se identificaron tres niveles de intervención. Los resultados evidenciaron que los suelos presentan una textura franco arcilloso, contenidos medios de MO en zonas con intervención alta. Asimismo, se registraron valores normales de fósforo, azufre e hierro, y una adecuada densidad aparente, lo que indica buena porosidad, drenaje y estructura granular. Además, se identificaron 80 individuos pertenecientes a 11 familias y 20 especies. Fabaceae, Moraceae y Polygonaceae fueron las familias más abundantes; sin embargo, en el sitio no intervenido se registró un pH ligeramente ácido (6,4), P (42,25%), Ca (16,3%), Mg (4,55%) y materia orgánica (3,18%).

2.2.2. Nacional

Inocencio-Vasquez y Florida-Rofner (2022) evaluaron la calidad del suelo en Padre Abad. Para ello, analizaron variables edáficas mediante técnicas geoestadísticas, empleando el interpolador Kriging para determinar patrones espaciales. Clasificaron entre baja y muy baja a la calidad, con una distribución espacial de 52,24% y 47,76%. Las características edáficas más relevantes se reportaron contenidos de arena (32%), limo (41%) y arcilla (27%), con un pH ácido (4,23), materia orgánica de 3,1%, nitrógeno total de 0,15%, fósforo disponible de 2,54 ppm, potasio de 90,57 cmol(+)/kg, aluminio intercambiable de 3,91 cmol(+)/kg y una CIC de 8,29 cmol(+)/kg.

Vásquez *et al.* (2021) evaluaron las propiedades físico-químicas del suelo bajo diferentes sistemas silvopastoriles (SSP) en la región Amazonas, muestrearon suelo a dos profundidades: entre 0 - 15 cm y 15 - 30 cm. Los resultados evidenciaron que todos los sistemas presentaron suelos fuertemente ácidos, con valores de pH entre 4,11 y 5,61, lo cual se asoció a

altos contenidos de materia orgánica, que oscilaron entre 6,74% y 9,99%. El mayor contenido de fósforo se registró en el sistema con aliso (12,64 ppm), mientras que el mayor contenido de potasio se observó en el sistema con ciprés (382,33 ppm). La porosidad fue superior al 60% en todos los sistemas evaluados, indicando buenas condiciones físicas del suelo, en cuanto a distribución vertical, la densidad aparente mayor se encontró en la capa más profunda (15–30 cm), mientras que la mayor humedad se registró en (0–15 cm).

2.2.3. Local

Ruiz (2025) realizó un estudio orientado a la evaluación de las propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo degradado en dos parcelas de 0,5 ha, con configuraciones cuadrada y circular. Como resultado obtuvo que el suelo presenta textura franca y rango adecuado en densidad aparente, que favorece la ventilación y la retención de humedad. En relación con las propiedades químicas, se observó un pH ligeramente ácido, contenidos moderados de materia orgánica y baja conductividad eléctrica. Asimismo, los macronutrientes esenciales, como nitrógeno, fósforo y potasio, mostraron variaciones entre las parcelas evaluadas.

Garay (2024) desarrolló una investigación en 25 subparcelas de 20×20 m dentro del BRUNAS, con el objetivo de evaluar el estado actual de los indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo en áreas con cobertura forestal, los resultados evidenciaron que los suelos presentan condiciones físicas favorables para el crecimiento vegetal, caracterizados por textura franca, estructura predominantemente granular, Da adecuada ($1,33 \text{ g/cm}^3$), porosidad moderada y baja resistencia a la penetración, lo que facilita el desarrollo radicular. Sin embargo, desde el punto de vista químico, se identificaron limitaciones importantes, como un pH fuertemente ácido (4,37), contenidos medios de MO y N, y niveles muy bajos en fósforo, potasio y CIC. En cuanto a los indicadores biológicos, se registró una macrofauna moderada, dominada por lombrices, hormigas.

Huaman (2024) estudió la calidad del suelo en diferentes altitudes del BRUNAS, los resultados mostraron que los suelos presentan características físicas adecuadas para el crecimiento forestal, destacando una textura franco arcillosa, baja densidad aparente (hasta $0,84 \text{ g/cm}^3$) y baja resistencia a la penetración, pH fuertemente ácido (cercano a 5,0), con contenido medio en MO y N, pero niveles bajos en P y K, lo que evidencia ciertas limitaciones nutricionales. Respecto a los indicadores biológicos, se observó una macrofauna abundante, con predominio de termitas y lombrices, que aportan significativamente a la biomasa del suelo, finalmente, se evidenció que las propiedades del suelo varían según la altitud.

Quispicho (2024) analizó la relación entre las características del suelo, el microclima y la diversidad de flora en la colina baja BRUNAS, para ello, se establecieron 24 parcelas de 400 m² distribuidas aleatoriamente, donde se realizó la identificación de especies vegetales y el muestreo de suelo para analizar parámetros fisicoquímicos (pH, materia orgánica, nitrógeno y fósforo), así como la medición de variables microclimáticas (luminosidad, temperatura y humedad relativa). El análisis de la diversidad se efectuó mediante índices ecológicos (Margalef, Simpson, Shannon-Wiener y Pielou). Los resultados obtenidos fueron: pH 4,5; M.O (%) 1,977; N(%)0,099; P (ppm) 3,584, además, se evidenciaron que no hay correlación significativa entre propiedades físico-químicas del suelo y los índices de diversidad florística.

Castañeda (2021), evaluó las características dasométricas y morfométricas del bosque mediante el establecimiento de dos parcelas (PPM I y IV) de una hectárea, sus resultados evidenciaron diferencias estructurales entre parcelas, destacando valores de área basal de 24,26 y 32,92 m²/ha, y volúmenes de 180,44 y 274 m³/ha, respectivamente; estos valores indican un alto potencial forestal en ambas parcelas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El estudio se realizó en tres (03) parcelas permanentes de medición (PPM), ubicadas en dos unidades fisiográficas: colina baja y colina alta dentro del BRUNAS. Dichas parcelas se localizan en el kilómetro 1,21 de la carretera central - Tingo María.

3.1.1. Ubicación política

- Región : Huánuco
- Provincia : Leoncio Prado
- Distrito : Rupa Rupa
- Ciudad : Tingo María

3.1.2. Ubicación geográfica

Tabla 8. Coordenadas geográficas de las parcelas en estudio.

Parcela	Altitud (m.s.n.m.)	Rango de Altitud por unidad fisiográfica (m.s.n.m.)	Vértice	Coordenadas UTM	
				Este	Norte
PPM 1	825	Colina alta (800-1 000)	1	391473	8969906
			2	391523	8969906
			3	391473	8969956
			4	391523	8969956
PPM 2	796	Colina baja (667-800)	1	391037	8970830
			2	391086	8970821
			3	391046	8970879
			4	391095	8970871
PPM 3	873	Colina alta (800-1 000)	1	391535	8970449
			2	391578	8970424
			3	391560	8970492
			4	391603	8970467

Nota: DATUM: WGS84.

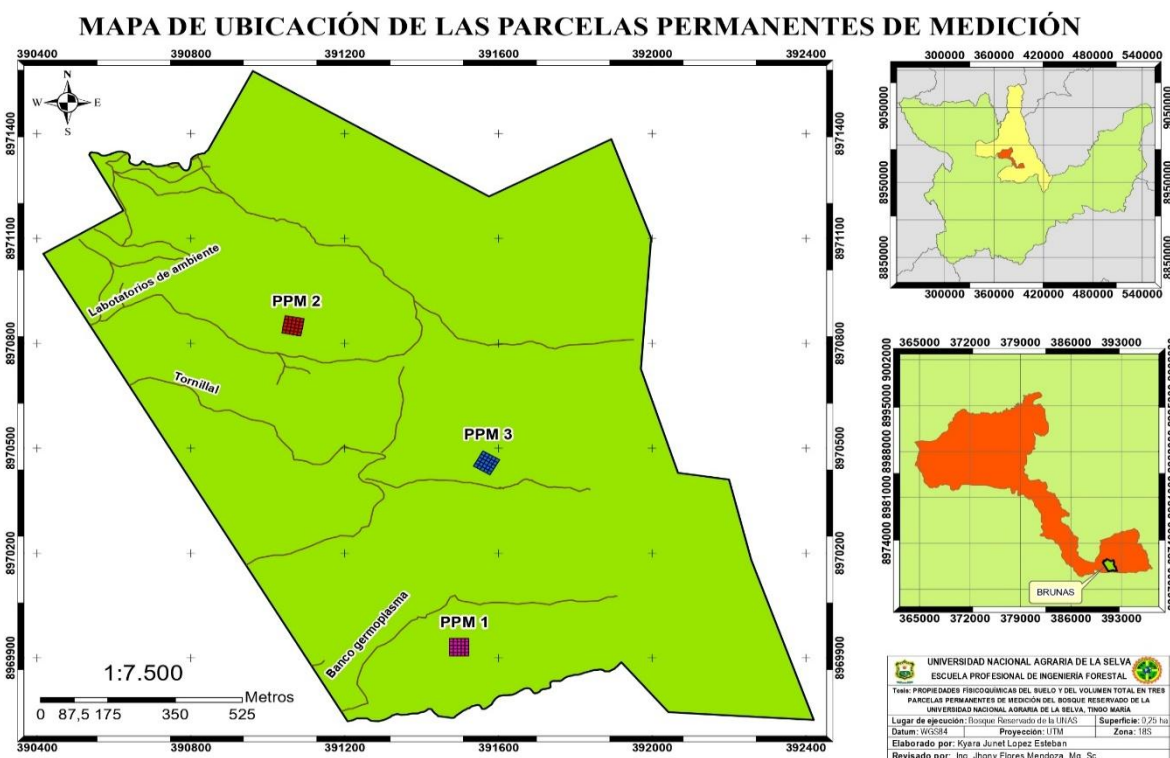


Figura 1. Ubicación de las parcelas permanentes de medición.

3.1.3. Clima

Rupa Rupa presenta un régimen pluviométrico elevado, con una precipitación media anual de 3 428,8 mm. Las lluvias se concentran principalmente entre los meses de septiembre y abril, registrándose el máximo en enero, con un promedio mensual de 483,6 mm. Asimismo, se reporta una humedad relativa promedio de 81,72 % y una temperatura media anual de 25,4 °C (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [SENAMHI], 2025).

3.1.4. Fisiografía

De acuerdo con la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1987), las parcelas evaluadas se encuentran dentro de la formación de bosque muy húmedo premontano subtropical (bmh-PST), asimismo, según la clasificación de las regiones naturales del Perú propuesta por Javier Pulgar Vidal, corresponde a la región Rupa Rupa o Selva Alta. El BRUNAS se distribuye en un rango altitudinal comprendido entre 650 y 1 120 m s.n.m. y presenta una fisiografía dominada por unidades de colina baja, colina alta y montaña baja. Además, según Puerta (2007), el relieve es predominantemente accidentado, con pendientes superiores al 25 % en aproximadamente el 70,74 % de su superficie, condiciones que contribuyen a la conservación de extensas áreas de bosque primario y a la elevada diversidad biológica característica de este ecosistema.

3.2. Materiales y métodos

3.2.1. Materiales y equipos

3.2.1.1. Material genético

Fueron todas las especies leñosas de las tres parcelas permanentes de medición. Estas especies comprendieron a la categoría silvicultural entre fustales ($10\text{ cm} \leq \text{dap} < 40\text{ cm}$) y árboles maduros ($\text{dap} \geq 40\text{ cm}$) (Manta, 1998).

3.2.1.2. Materiales de campo

Para delimitar la parcela y subparcelas se utilizaron: cordel de 100 m, rafia, tubos de plástico de 3 pulgadas y cinta métrica de 100 m.

Para la evaluación de las especies se utilizaron: placas de aluminio, para la codificación de cada árbol; plumón indeleble, para el rotulado correspondiente. Asimismo, se empleó una vara referencial de 1,30 m, para facilitar la medición del DAP; una cinta diamétrica, para determinar el diámetro de los árboles.

Para el muestreo de suelo se utilizaron: pala recta, plástico de protección, costales, bolsas de mercado, bolsas herméticas tipo Ziploc con capacidad de 1 kg, etiquetas de identificación y marcador indeleble, los cuales permitieron asegurar la adecuada manipulación, conservación y trazabilidad de las muestras.

Para la recolección de datos de campo se utilizaron: ficha de campo para el registro de la identificación preliminar de las especies y para las variables dasométricas; asimismo, se utilizó una ficha de registro para muestreo de suelo.

3.2.1.3. Equipos

Se utilizó GPS marca Garmin modelo Map 65s, para la georreferenciación de las parcelas y registro de coordenadas; brújula Suunto, para medir el azimut entre los vértices de cada parcela; clinómetro Suunto, para la medición de la altura total los árboles, cámara fotográfica digital, para el registro visual de los anexos, y finalmente una laptop Lenovo para redactar el informe de tesis.

3.2.2. Metodología

Hernández-Sampieri & Mendoza (2020) clasifican a la investigación en:

- a) **Tipo:** aplicado porque se aplicaron conocimientos existentes provenientes de la edafología, la silvicultura y la dasometría, tales como métodos estandarizados para el análisis de propiedades fisicoquímicas del suelo, técnicas de medición forestal para la estimación de volumen y criterios de interpretación de la fertilidad del suelo, los cuales han sido previamente desarrollados y validados en la literatura científica.
- b) **Enfoque:** cuantitativo, porque se tomaron datos numéricos como: medición de diámetro, altura de los fustales y árboles maduros, parámetros fisicoquímicos del suelo. Además, es cualitativo a la vez, porque la clase textural del suelo fue expresado en sistema nominal.
- c) **Nivel:** descriptivo, debido a que los fenómenos fueron caracterizados tal como se presentaron en la realidad, sin intervención del investigador.
- d) **Diseño:** transversal, puesto que la recolección de datos se realizó en un único momento temporal.

Asimismo, el estudio fue de tipo no experimental, ya que no se manipuló ninguna variable.

3.2.2.1. Determinación y comparación de las propiedades fisicoquímicas del suelo en tres parcelas permanentes de medición ubicadas en colina baja y colina alta

Para este objetivo, se establecieron 13 puntos de muestreo distribuidos de forma sistemática y en forma de zigzag siguiendo la metodología de la Guía para el Muestreo de Suelos (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2013). Los puntos de muestreo fueron las subparcelas 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23 y 25 como se muestra en la **Figura 2**, en cada punto se limpió la superficie del área a muestrear, eliminando restos orgánicos y materiales extraños, posteriormente se extrajeron las submuestras de suelo entre los 0 a 10 cm de profundidad utilizando una pala recta, posteriormente, las 13 submuestras fueron homogenizadas sobre un plástico para conformar la muestra compuesta representativa. Este procedimiento se repitió en las tres parcelas permanentes de medición, obteniendo así tres muestras compuestas.

Las muestras compuestas fueron colocadas en una bolsa hermética tipo ziploc de manera independiente, además, fueron rotuladas, luego fueron secadas a temperatura ambiente por un periodo de siete días, seguidamente se tamizaron a 2,5 mm y se colocó un kilogramo de muestra seca de suelo de cada parcela permanente en una bolsa ziploc previamente rotulada, finalmente las muestras fueron llevadas al Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología de la (UNAS), en el que se realizaron los análisis correspondientes bajo condiciones controladas, garantizando la confiabilidad de los resultados.

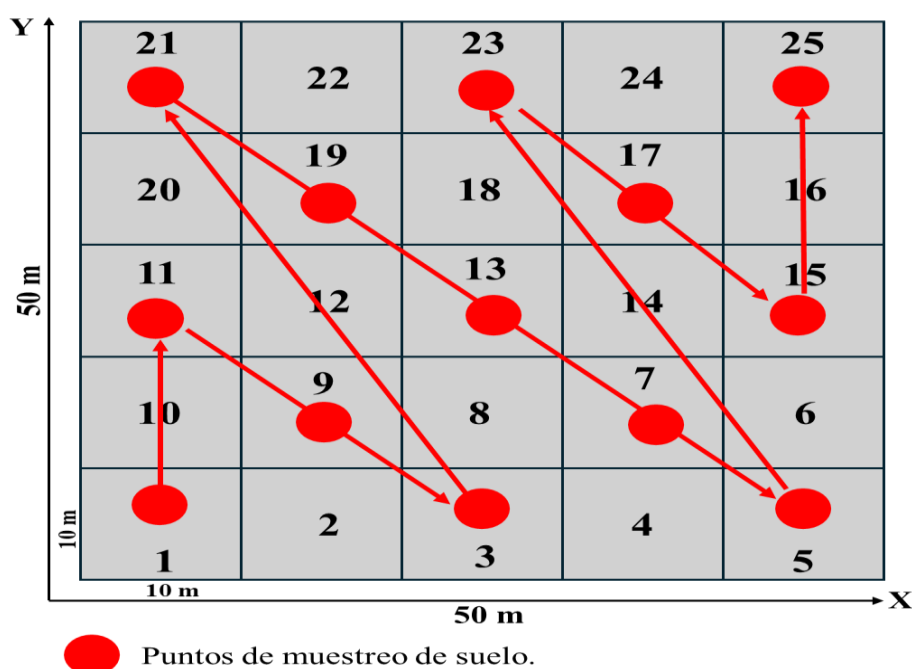


Figura 2. Puntos de muestreo de suelo por parcela permanente de monitoreo.

Para comparar las propiedades físico-químicas, los resultados del laboratorio fueron digitados y procesados en el Microsoft Excel, además, se generaron figuras comparativas tipo barras. Por otro lado, cabe precisar que las parcelas permanentes de medición 1 y 3 pertenecieron a la unidad fisiográfica de colina alta, mientras que la parcela permanente de monitoreo 2 se ubicó en la unidad fisiográfica de colina baja (**Tabla 9**).

Tabla 9. Unidad fisiográfica de las parcelas permanente de monitoreo del BRUNAS.

Parcela permanente de monitoreo	Fisiografía	Altitud (m.s.n.m.)	Superficie	Pendiente
PPM1	Colina alta	825	0,25 ha	42%
PPM2	Colina baja	796	0,25 ha	47%
PPM3	Colina alta	873	0,25 ha	37%

3.2.2.2. Estimación y contrastación del volumen total por hectárea en cada parcela permanente de medición

Las parcelas permanentes de medición fueron subdivididas en 25 subparcelas de 10 x 10 m, en las cuales en las 25 subparcelas se evaluaron todos los individuos correspondientes a las categorías silviculturales: fustales ($10 \text{ cm} \leq \text{dap} < 40 \text{ cm}$) y árboles maduros ($\text{dap} \geq 40 \text{ cm}$) Manta (1998) como se muestra en la **Figura 3**. Por otra parte, se registraron: número de ppm, subparcela e individuo, categoría silvicultural, especie, diámetro altura de pecho, altura total y coordenadas cartesianas (X, Y) en metros.

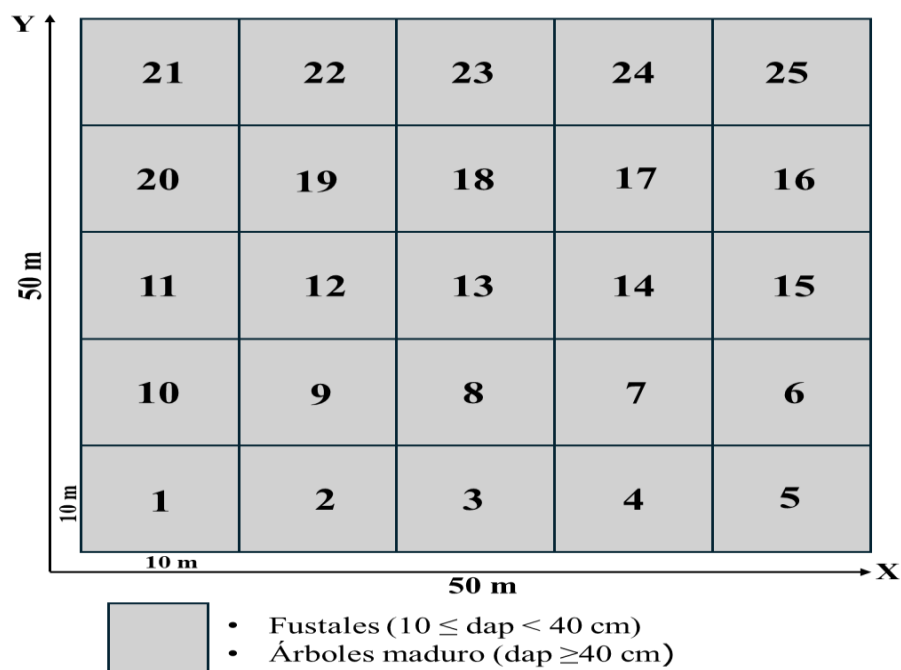


Figura 3. Subparcelas de una parcela permanente de medición para evaluación de fustales y árboles maduros.

Para estimar el volumen total, primero se calculó el área basal utilizando la ecuación 2, seguidamente se estimó el volumen total aplicando la ecuación 3. Posteriormente, el resultado de 0,25 ha se extrapoló a una superficie de 1 ha.

$$\text{Área basal (m}^2\text{)} = \frac{\pi}{4} \times \text{dap}^2 \quad \text{ecuación 2}$$

En donde:

- $\pi \approx 3,1416$

- $\text{dap} = (\text{m})$

$$\text{Volumen (m}^3\text{)} = \text{Área basal (m}^2\text{)} \times \text{altura total (m)} \times \text{ff} \quad \text{ecuación 3}$$

En donde:

- ff = factor de forma (0,65). Valor constante utilizado en la estimación del volumen, el cual varía según la calidad del fuste del árbol (Amaral et al., 1998).

Para el volumen de árbol en pie se utilizó el factor de forma 0,65 porque es ampliamente utilizado en bosques amazónicos, además, es recomendado por el (SERFOR, 2016).

3.2.2.3. Determinación de la contribución volumétrica de las familias arbóreas en las parcelas permanentes de medición

A partir de la estimación del volumen de cada individuo, los resultados fueron agrupando por familias botánicas. Los volúmenes fueron sumados por familia y ordenados de mayor a menor, finalmente, se determinó la contribución porcentual de cada familia al volumen total.

$$\text{Contribución volumétrica(\%)} = \frac{\text{volumen por familia}}{\text{Volumen total}} \times 100 \quad \text{ecuación 4}$$

Posteriormente, los datos de campo fueron digitados y procesados a partir de ello se estimó el volumen total individual y general, asimismo, se elaboraron figuras estadísticas comparativas tipo barra para las propiedades del suelo y el volumen total, además, a partir de las coordenadas cartesianas (X, Y) se elaboró el mapa de distribución de las especies.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación y comparación de las propiedades fisicoquímicas del suelo en tres parcelas permanentes de medición ubicadas en colina baja y colina alta

4.1.1. Propiedades físicas

Los resultados obtenidos muestran que las tres parcelas permanentes de medición presentan una textura clasificada como franco arcilloso arenoso, con predominancia de arena (54% – 64%), seguida de arcilla (22% – 24%) y menores proporciones de limo (14% – 22%) como se observa en la **Figura 4**, esta distribución textural refiere que el suelo presenta una capacidad de retención de agua moderada, combinada con un buen drenaje, lo cual es característico de suelos con fracciones arenosas dominantes. Asimismo, la presencia de arcilla contribuye a la retención de nutrientes, mientras que el bajo contenido de limo indica una menor capacidad de agregación estructural. Por lo tanto, estas características evidencian condiciones físicas relativamente favorables para el desarrollo de la vegetación, aunque con posibles limitaciones en la retención hídrica en periodos de baja precipitación.

Por otro lado, esta homogeneidad textural sugiere que las diferencias observadas en otros atributos del ecosistema no estarían asociadas a las propiedades físicas del suelo, sino a factores de distinta naturaleza, porque al considerar la ubicación fisiográfica de las parcelas, la PPM1 y PPM3 se sitúan en colina alta y la PPM2 en colina baja, es posible inferir que los procesos de redistribución de materiales, lixiviación y acumulación de nutrientes podrían estar influyendo en mayor medida sobre las propiedades químicas del suelo que sobre su textura. Por lo tanto, la textura no constituye un factor limitante ni diferenciador entre parcelas, manteniéndose relativamente constante a lo largo del gradiente altitudinal evaluado.

Tabla 10. Propiedades físicas del suelo en las parcelas permanentes de medición.

Parcela permanente de medición	Propiedades físicas			
	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural
PPM1	64	14	22	Franco arcilloso arenoso
PPM2	54	22	24	Franco arcilloso arenoso
PPM3	58	18	24	Franco arcilloso arenoso

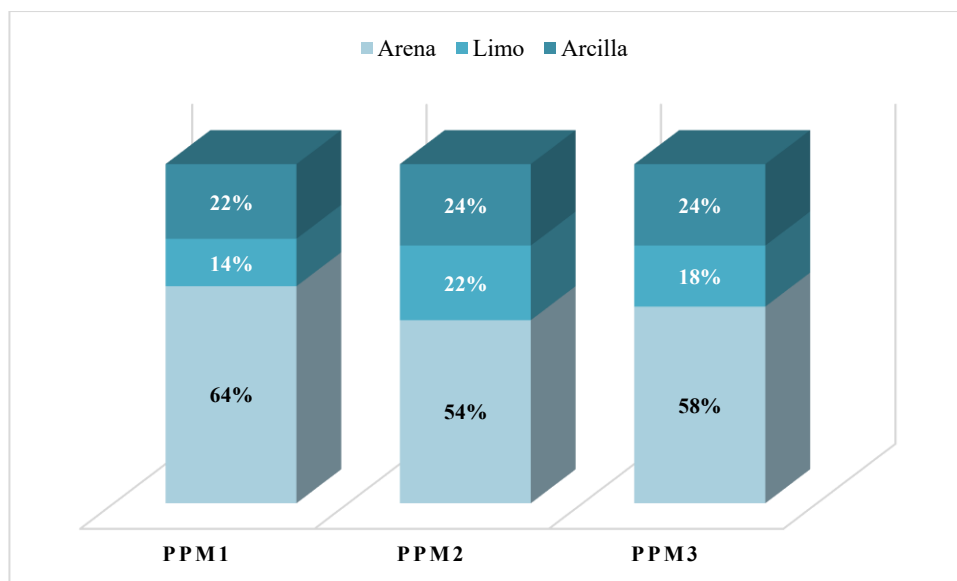


Figura 4. Proporción de arena, limo y arcilla en el suelo de las parcelas permanentes de medición.

Los resultados corroboran con lo reportado por Vandana *et al.* (2023), quienes indican que la densidad aparente tiende a incrementarse en capas más profundas, mientras que la porosidad y la capacidad de retención de agua son mayores en la superficie. De manera similar, en las parcelas evaluadas, las condiciones físicas más favorables estarían asociadas a horizontes superficiales y a zonas con mayor acumulación de materia orgánica. Asimismo, coincide con Darro *et al.* (2022), quienes evidenciaron que la densidad aparente aumenta con la profundidad, mientras que otras propiedades como la humedad disminuyen.

Además, los resultados guardan relación con Ruiz (2025) y Garay (2024), quienes reportaron suelos con textura franca, densidad aparente adecuada y buena porosidad en el BRUNAS, condiciones que favorecen la aireación y el crecimiento radicular. Del mismo modo, Huaman (2024) señala que en zonas con variación altitudinal existen diferencias en densidad aparente y resistencia a la penetración, lo cual coincide con las diferencias observadas entre colina alta y colina baja en este estudio.

4.1.2. Propiedades químicas

Los valores de pH registrados en las parcelas (3,25 - 3,39) indican que los suelos de las tres parcelas permanentes de medición presentan una reacción fuertemente ácida, y esta condición puede afectar la disponibilidad de nutrientes esenciales y favorecer la presencia de elementos tóxicos como el aluminio. En cuanto a la materia orgánica (MO), los valores

obtenidos (2,91% - 3,46%) corresponden a un nivel medio, lo que refleja una moderada acumulación de residuos orgánicos y actividad biológica en el suelo; mientras que el nitrógeno total (N) presentó valores entre (0,145% - 0,173%), clasificándose también como nivel medio, lo que evidencia una disponibilidad intermedia de este nutriente, en concordancia con el contenido de materia orgánica; sin embargo, en fósforo (P), los valores (1,975 ppm - 2,142 ppm) indican una baja disponibilidad, lo cual es característico de suelos tropicales ácidos donde este nutriente se encuentra fijado y poco disponible para las plantas.

Por otro lado, el potasio (K) presentó valores entre (59,353 ppm - 98,197 ppm), clasificándose de moderada a alta, además, se constituye en uno de los nutrientes menos limitantes en el suelo de las parcelas evaluadas, mientras que el carbono orgánico (CO) mostró valores entre 1,686% y 2,006%, evidenciando una relación directa con la materia orgánica y confirmando una dinámica moderada de acumulación de carbono en el suelo; en cuanto al aluminio intercambiable (Al^{3+}), los valores (5,800 – 7,250 cmol(+)/kg) son elevados, lo cual es consistente con la fuerte acidez del suelo y puede generar efectos negativos en el crecimiento radicular y la absorción de nutrientes; finalmente, la capacidad de intercambio catiónico efectiva (+E) presentó valores entre 14,013 y 15,977 cmol(+)/kg, clasificándose entre baja y media, lo que indica una capacidad moderada del suelo para retener y suministrar nutrientes. Considerando la ubicación fisiográfica de las parcelas, se observó que la PPM1 (825 m.s.n.m.) y PPM3 (873 m.s.n.m.), ubicadas en colina alta, presentan condiciones asociadas a procesos de lixiviación más intensos y menor acumulación de nutrientes, propios de zonas con mayor pendiente.

Tabla 11. Propiedades químicas del suelo en las parcelas permanentes de medición.

Parcela permanente de medición	Propiedades químicas							
	pH	MO (%)	N total (%)	P (ppm)	K (ppm)	CO (%)	Al intercambiable (cmol(+)/kg)	CICE
PPM1	3,39	2,91	0,145	2,142	59,353	1,686	5,800	14,013
PPM2	3,25	3,01	0,150	1,975	96,350	1,744	7,250	15,977
PPM3	3,30	3,46	0,173	2,076	98,197	2,006	6,525	14,485

Nota: pH: potencial de hidrógeno, MO: materia orgánica, N: nitrógeno, P: fósforo, K: potasio, CO: carbono orgánico, Al: aluminio, CICE: capacidad de intercambio catiónico efectiva.

Los resultados muestran que los valores de materia orgánica, nitrógeno total y carbono orgánico se mantienen relativamente homogéneos entre las parcelas evaluadas, esta uniformidad sugiere una condición edáfica similar en las tres parcelas, lo que podría estar relacionado con características ambientales compartidas, como el tipo de vegetación, el manejo

del área y los procesos de descomposición de residuos orgánicos, además, coinciden con Vásquez et al. (2021), quienes reportaron suelos fuertemente ácidos en sistemas forestales de la Amazonía, asociados a altos contenidos de materia orgánica. Asimismo, Inocencio-Vásquez y Florida-Rofner (2022) señalaron que los suelos amazónicos presentan baja fertilidad y alta variabilidad espacial, lo cual también se evidencia en las diferencias entre las parcelas evaluadas. Por otro lado, los resultados concuerdan con Calderón-Medina et al. (2018), quienes encontraron que, aunque los suelos forestales presentan buenas condiciones físicas, suelen mostrar limitaciones químicas, especialmente en la disponibilidad de nutrientes como fósforo y potasio. Esta situación también se observa en las PPM, donde los niveles de estos elementos son reducidos.

Por otra parte, concordamos con Xiao et al. (2023), quienes destacan la importancia de nutrientes como K, Mg y Zn en la calidad del suelo, así como con Darro et al. (2022), quienes evidenciaron que los nutrientes disminuyen con la profundidad del suelo. Estas tendencias pueden estar presentes en las parcelas evaluadas, especialmente en aquellas ubicadas en colina alta; además, coincidimos con Garay (2024) y Ruiz (2025), quienes reportaron suelos con pH ácido, contenidos moderados de materia orgánica y limitaciones en nutrientes esenciales en el BRUNAS. Asimismo, Huaman (2024) indica que las propiedades químicas varían con la altitud, lo cual explica las diferencias observadas entre PPM1, PPM2 y PPM3. Sin embargo, existe una ligera discrepancia con Quispicho (2024), quien no encontró relación significativa entre propiedades del suelo y diversidad florística en colina baja. En contraste, los resultados del presente estudio sugieren que las condiciones químicas del suelo podrían influir indirectamente en la dinámica del ecosistema forestal.

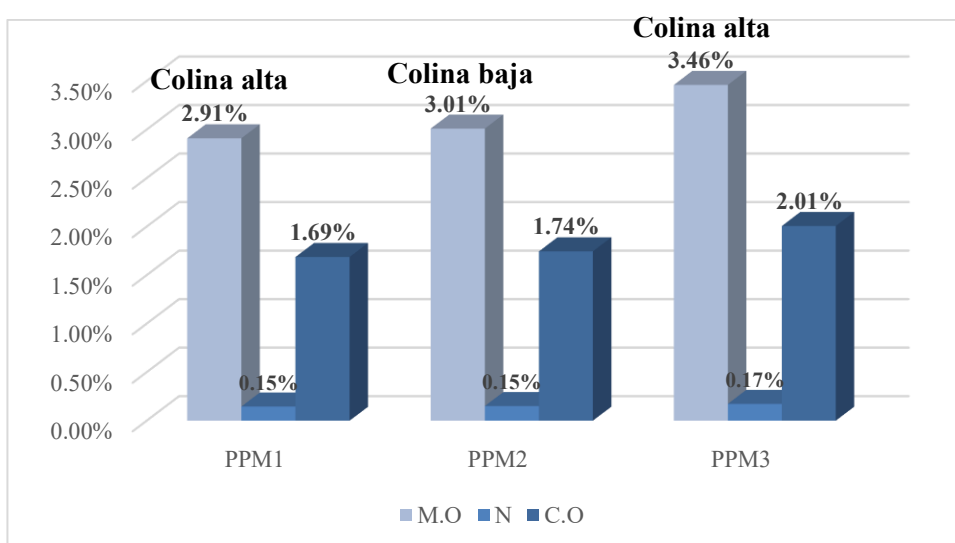


Figura 5. Porcentaje de materia orgánica, nitrógeno y carbono orgánico.

4.2. Estimación y contrastación del volumen total por hectárea en cada parcela permanente de medición

Los resultados indican que la PPM2 presenta el mayor volumen total (495,64 m³/ha), seguida de la PPM1 (451,44 m³/ha) y la PPM3 (429,32 m³/ha), estas diferencias reflejan variaciones en la estructura del bosque, posiblemente asociadas a la densidad de individuos, el tamaño de los árboles y las condiciones edáficas. Por otro lado, al integrar estos resultados con las propiedades del suelo y la ubicación fisiográfica, se observa que la PPM2, ubicada en colina baja, presenta mejores condiciones de fertilidad, evidenciadas por mayores contenidos de potasio y capacidad de intercambio catiónico efectiva, lo que favorece el desarrollo de la vegetación. En contraste, las parcelas ubicadas en colina alta (PPM1 y PPM3) presentan menores volúmenes, posiblemente debido a procesos de lixiviación más intensos y menor acumulación de nutrientes.

Tabla 12. Volumen total de árbol en pie por unidad fisiográfica y por hectárea.

Unidad fisiográfica	Parcela permanente de medición	Volumen de fustales (m ³ /0,25ha)	Volumen de árboles maduros (m ³ /0,25ha)	Volumen total (m ³ /0,25ha)	Volumen total (m ³ /ha)
Colina alta	PPM1	60,36	52,50	112,86	451,44
Colina baja	PPM2	72,82	51,09	123,91	495,64
Colina alta	PPM3	59,77	47,56	107,33	429,32

Los resultados corroboran con lo estipulado por Telles Antonio *et al.* (2021), quienes demostraron que el crecimiento forestal está estrechamente relacionado con variables del suelo como la disponibilidad de nutrientes, la conductividad hidráulica y la densidad aparente. En este sentido, las variaciones en el volumen del bosque entre parcelas están condicionadas por las diferencias en fertilidad del suelo; asimismo, concordamos con Castañeda (2021), quien reportó altos volúmenes forestales en parcelas del BRUNAS, indicando una buena productividad del ecosistema. Esto sugiere que, a pesar de las limitaciones químicas del suelo, las condiciones generales del sitio permiten el desarrollo adecuado del bosque.

Por otro lado, los resultados también se relacionan con lo reportado por García (2016), quien señala que las características del suelo influyen en la estructura y composición del bosque, lo que a su vez repercute en variables como el volumen forestal, además, Huaman (2024) destaca que la variabilidad altitudinal influye en la calidad del suelo y, potencialmente, en la productividad del bosque, lo cual coincide con las diferencias observadas entre colina alta y colina baja en este estudio.

4.3. Contribución volumétrica de las familias arbóreas en las parcelas permanentes de medición

En la PPM1, la familia Fabaceae presentó el mayor volumen total (33,18 m³), seguida de Melastomataceae (24,92 m³), lo que indica alta contribución a la estructura del bosque, asimismo, la familia Euphorbiaceae destaca por el mayor número de individuos (41) siendo la especie más representativa *Pseudosenefeldera inclinata* (Müll. Arg.) Esser, aunque con menor volumen total, lo que sugiere la presencia de individuos de menor tamaño, por lo tanto, la distribución del volumen evidencia que pocas familias concentran la mayor biomasa, mientras que el resto contribuye de manera secundaria a la estructura forestal.

Tabla 13. Volumen total de árbol en pie en la parcela permanente de medición 1 (PPM1).

Familia	Número de especies	Número total de individuos	Categoría		Volumen total (m ³ /0,25ha)	Volumen total (m ³ /ha)
			Fustal	Árbol Maduro		
Fabaceae	5	12	10,51	22,67	33,18	132,71
Melastomataceae	2	10	2,48	22,44	24,92	99,69
Euphorbiaceae	2	41	12,46		12,46	49,83
Annonaceae	1	4	2,42	4,31	6,73	26,92
Urticaceae	3	8	6,54		6,54	26,14
Rubiaceae	1	7	3,80		3,80	15,20
Lauraceae	3	7	3,74		3,74	14,95
Myristicaceae	3	8	3,12		3,12	12,48
Bignoniaceae	1	1		3,08	3,08	12,32
Burseraceae	2	9	2,99		2,99	11,95
Moraceae	2	6	2,73		2,73	10,93
Malvaceae	1	6	2,16		2,16	8,63
Araliaceae	1	2	1,51		1,51	6,03
Meliaceae	1	1	1,49		1,49	5,96
Apocynaceae	1	1	1,20		1,20	4,81
Clusiaceae	1	2	1,17		1,17	4,67
Lamiaceae	1	2	1,01		1,01	4,02
Lecythidaceae	1	1	0,58		0,58	2,31
Sapotaceae	2	2	0,47		0,47	1,86
Total general	34	130	60,36	52,50	112,86	451,44

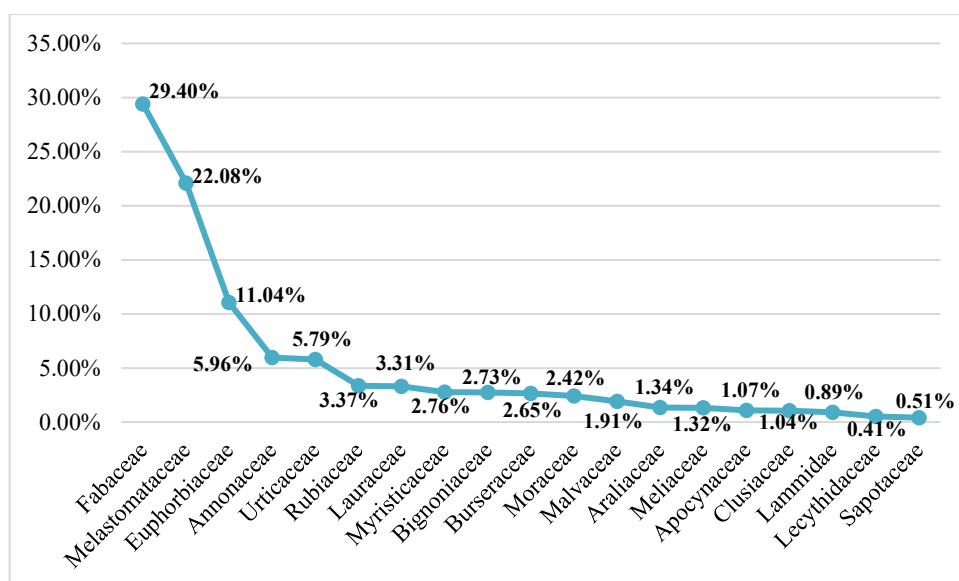


Figura 6. Porcentaje de contribución volumétrica por familia en la PPM1.

En la PPM2, la familia Euphorbiaceae presentó el mayor volumen total (30,31 m³), seguida por Urticaceae (11,99 m³) y Meliaceae (10,04 m³), asimismo, se observa una distribución más equilibrada del volumen entre varias familias, lo que sugiere una mayor diversidad estructural en comparación con la PPM1. Además, algunas familias presentan contribuciones tanto en fustales como en árboles maduros.

Tabla 14. Volumen total de árbol en pie en la parcela permanente de medición 2 (PPM2).

Familia	Número de especies	Número total de individuos	Categoría		Volumen total (m ³ /0,25ha)	Volumen total (m ³ /ha)
			Fustal	Árbol Maduro		
Euphorbiaceae	3	43	17,42	12,89	30,31	121,24
Urticaceae	3	12	5,28	6,71	11,99	47,96
Meliaceae	1	1		10,04	10,04	40,17
Fabaceae	5	12	6,73	2,67	9,40	37,59
Burseraceae	2	26	8,70		8,70	34,78
Lauraceae	2	11	2,35	6,30	8,65	34,59
Malvaceae	2	7	3,30	4,00	7,29	29,18
Myristicaceae	3	16	5,74	0,18	5,92	23,68
Melastomataceae	2	5	5,82		5,82	23,29
Moraceae	2	5	2,31	3,17	5,48	21,92
Rubiaceae	3	10	3,39		3,39	13,58
Clusiaceae	1	3	3,27		3,27	13,08
Annonaceae	1	6	1,19	1,99	3,19	12,76
Bignoniaceae	1	2	0,15	2,98	3,13	12,53
Lecythidaceae	1	4	2,24		2,24	8,98
Lammidae	1	5	1,86		1,86	7,43

Araliaceae	1	3	1,67	0,17	1,83	7,34
Myrtaceae	1	4	1,04		1,04	4,14
Sapotaceae	1	1	0,26		0,26	1,05
Apocynaceae	1	1	0,09		0,09	0,37
Total general	37	177	72,82	51,09	123,91	495,64

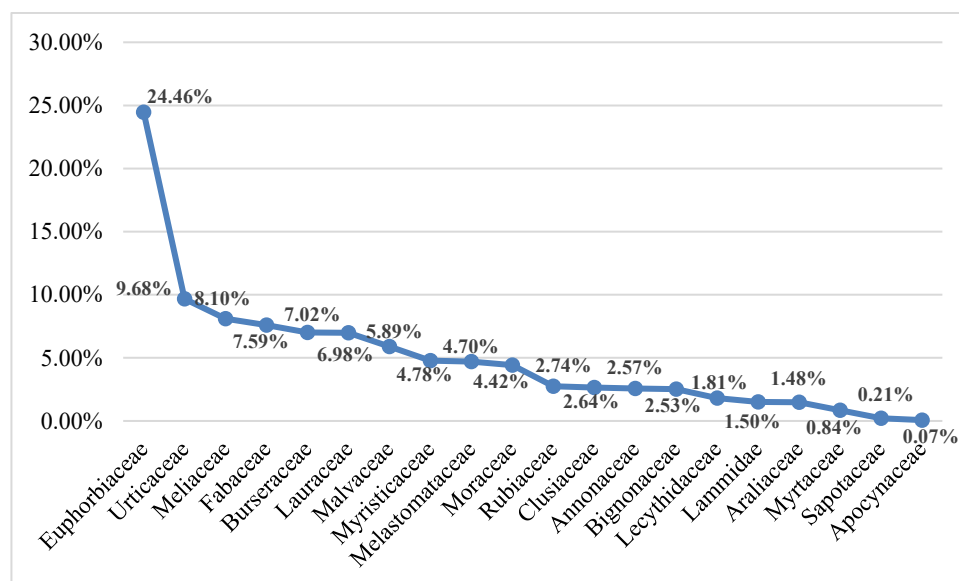


Figura 7. Porcentaje de contribución volumétrica por familia en la PPM2.

En la PPM3, la familia Euphorbiaceae volvió a destacar con el mayor volumen (25,88 m³), seguida por Fabaceae (24,00 m³), asimismo, se observa una importante contribución de Urticaceae (12,81 m³), lo que evidencia una estructura dominada por pocas familias con alta representatividad, por lo tanto, la distribución volumétrica muestra una tendencia similar a las otras parcelas, donde ciertas familias concentran gran parte del volumen total del bosque.

Tabla 15. Volumen total de árbol en pie en la parcela permanente de medición 3 (PPM3).

Familia	Número de especies	Número total de individuos	Categoría		Volumen total (m ³ /0,25ha)	Volumen total (m ³ /ha)
			Fustal	Árbol Maduro		
Euphorbiaceae	4	81	20,68	5,20	25,88	103,51
Fabaceae	3	9	1,79	22,21	24,00	95,98
Urticaceae	3	22	12,81		12,81	51,22
Lecythidaceae	1	1		7,39	7,39	29,55
Moraceae	5	8	4,51	2,59	7,11	28,44
Melastomataceae	2	3	1,20	5,32	6,52	26,09

Myristicaceae	3	7	1,21	4,85	6,06	24,24
Rubiaceae	2	19	4,43		4,43	17,71
Bignoniaceae	1	4	4,02		4,02	16,09
Annonaceae	1	4	2,29		2,29	9,16
Lauraceae	2	5	2,16		2,16	8,65
Burseraceae	2	6	2,10		2,10	8,39
Clusiaceae	1	1	1,41		1,41	5,62
Araliaceae	1	1	0,94		0,94	3,78
Malvaceae	1	2	0,15		0,15	0,59
Myrtaceae	1	1	0,07		0,07	0,28
Total general	33	174	59,77	47,56	107,32	429,30

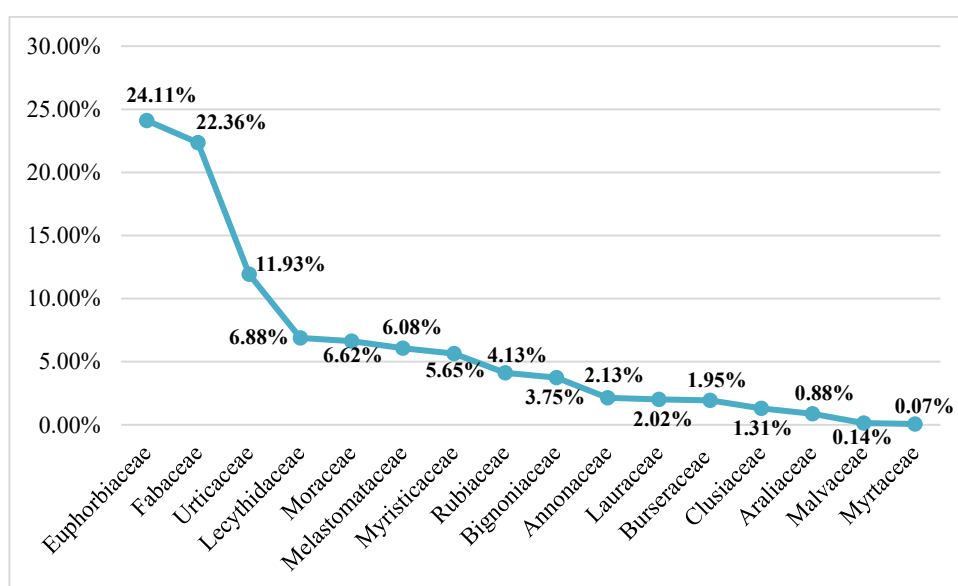


Figura 8. Porcentaje de contribución volumétrica por familia en la PPM3.

V. CONCLUSIONES

- Las propiedades fisicoquímicas del suelo evidencian variabilidad entre las parcelas, asociada a la posición topográfica, diferenciándose las condiciones entre PPM 1 y PPM 3 respecto a la PPM 2. En términos físicos, los suelos presentan textura franco arcilloso arenoso, adecuada para el desarrollo forestal; sin embargo, desde el punto de vista químico, predominan condiciones limitantes; los suelos son fuertemente ácidos (pH 3,25–3,39), con contenidos medios de materia orgánica (2,91%–3,46%), nitrógeno (0,145%–0,173%) y carbono orgánico (1,686%–2,006%), fósforo bajo (1,975–2,142 ppm), potasio alto (59,353–98,197 ppm), aluminio intercambiable elevado (5,800–7,250 cmol(+)/kg) y una capacidad de intercambio catiónico entre baja y media (14,013–15,977 cmol(+)/kg).
- El volumen total por hectárea varía entre las parcelas permanentes de medición, registrándose el mayor valor en la PPM 2, ubicada en colina baja (495,64 m³/ha), seguida de la PPM 1 (451,44 m³/ha) y la PPM 3 (429,32 m³/ha), ambas en colina alta.
- La contribución al volumen total del bosque se concentra en un número reducido de familias arbóreas que dominan estructuralmente las parcelas, lo que evidencia su mayor capacidad de crecimiento y adaptación a las condiciones edáficas y topográficas. En la PPM 1 destacan Fabaceae (29,40%), Melastomataceae (22,08%) y Euphorbiaceae (11,04%), mientras que Sapotaceae presenta la menor participación (0,51%); en la PPM 2 predominan Euphorbiaceae (24,46%), Urticaceae (9,68%) y Meliaceae (8,10%), con Apocynaceae como la menos representativa (0,21%); en la PPM 3 sobresalen Euphorbiaceae (24,11%), Fabaceae (22,36%) y Urticaceae (11,93%), en contraste con Myrtaceae, que registra la menor contribución (0,07%).

VI. PROPUESTAS A FUTURO

- Desarrollar estudios de monitoreo a largo plazo en las tres parcelas permanentes de medición, con el fin de analizar la dinámica de las propiedades fisicoquímicas del suelo.
- Ampliar el análisis del suelo a diferentes profundidades, evaluando horizontes más profundos a través de calicatas.
- Cuantificar el carbono almacenado tanto en el suelo como en la biomasa forestal, así como evaluar otros servicios ecosistémicos.
- Incorporar análisis biológicos del suelo, como macrofauna (lombrices, insectos) y microbiota (hongos y bacterias), para complementar la evaluación fisicoquímica.
- Monitorear la biodiversidad en el BRUNAS, considerando las zonas de colina baja, colina alta y montaña baja, con el fin de evaluar la diversidad, estructura y dinámica del bosque, y generar información que contribuya a su conservación.

VII. REFERENCIAS

- Aber, J. D., & Melillo, J. M. (2001). *Terrestrial ecosystems*. Academic Press.
- Abi-Saab, R. (2012). *Evaluación de la calidad del suelo en el sistema productivo orgánico La Estancia, Madrid, Cundinamarca, 2012: Utilizando indicadores de calidad de suelos*. [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Javeriana].
<https://repositorio.javeriana.edu.co/handle/10554/8990>
- Alder, D., & Synnott, T. J. (1992). *Permanent sample plot techniques for mixed tropical forest*. Oxford Forestry Institute, University of Oxford.
- Amaral, P., Veríssimo, A., Barreto, P., Silva, E., Imamoto, M., Lozano, E., & Buschbacher, R. (1998). *Bosque para siempre: Un manual para la producción de madera en la Amazonía*. Imazon.
- Anderson-Teixeira, K., Davies, S., Bennett, A., Gonzalez-Akre, E., Muller-Landau, H., Joseph-Wright, S., Abu, K., Almeyda, A., Alonso, A., Baltzer, J., Basset, Y., Bourg, N., Broadbent, E., Brockelman, W., Bunyavejchewin, S., Burslem, D., Butt, N., Cao, M., Cardenas, D., Zimmerman, J. (2015). CTFS -Forest GEO: A worldwide network monitoring forests in an era of global change. *Global Change Biology*, 21(2), 528-549.
<https://doi.org/10.1111/gcb.12712>
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2017). *The nature and properties of soils* (15th ed.). Pearson.
<https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/nature-and-properties-of-soils-the/P200000000825/9780137516933>
- Brienen, R., Phillips, O., Feldpausch, T., Gloor, E., Baker, T., Lloyd, J., Lopez-Gonzalez, G., Monteagudo-Mendoza, A., Malhi, Y., Lewis, S., Vásquez Martínez, R., Alexiades, M., Álvarez Dávila, E., Alvarez-Loayza, P., Andrade, A., Aragão, L., Araujo-Murakami, A., Arets, E., Arroyo, L., Zagt, R. (2015). Long-term decline of the Amazon carbon sink. *Nature*, 519(7543), 344-348. <https://doi.org/10.1038/nature14283>
- Burgos, J. (1955). Posibilidades de la repoblación natural y semiartificial del tornillo *Cedrelinga cateniformis* Ducke. *Boletín Trimestral de la Estación Experimental Agrícola de Tingo María*.

- Calderón-Medina, C. L., Bautista-Mantilla, G. P., & Rojas-González, S. (2018). Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta. *Orinoquia*, 22(2), 141–157. <https://doi.org/10.22579/20112629.524>
- Castañeda, E. F. (2021). *Análisis dasométrico y morfométrico del bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva a través de parcelas permanentes de medición, en Tingo María-Huánuco*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/1992>
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). (2000). *Parcelas permanentes de muestreo en bosque natural tropical: Guía para el establecimiento y medición* (Serie Técnica, Manual Técnico N.º 42). CATIE. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/3290>
- Condit, R. (1989). Tropical forest census plots: Methods and results from Barro Colorado Island, Panama and a comparison with other plots. Springer.
- Cruz, A. B., Barra, J. E., del Castillo, R. F., & Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 13(2).
- Curry, J.P. (1987). La fauna de invertebrados de los pastizales y su influencia en la productividad. II. Factores que afectan la abundancia y composición de la fauna. *Ciencia de pastos y forrajes*, 42(3), 197-212.
- Darro, H., Swamy, S. L., Kumar, R., & Bhardwaj, A. K. (2022). Comparison of physico-chemical properties of soils under different forest types in dry tropical forest ecosystem in Achanakmar-Amarkantak Biosphere Reserve, India. *Ecology, Environment and Conservation*, 28(08), S163–S169. <https://doi.org/10.53550/EEC.2022.v28i08s.026>
- Dixon, R., Solomon, A., Brown, S., Houghton, R., Trexler, M., & Wisniewski, J. (1994). Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems. *Science*, 263(5144), 185-190. <https://doi.org/10.1126/science.263.5144.185>
- Domínguez, J. M., Román, A. D., Prieto, F., & Acevedo, O. (2012). Sistema de Notación Munsell y CIELab como herramienta para evaluación de color en suelos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(1), 141-155.

- Doran, J. W., & Parkin, T. B. (1994). Defining and assessing soil quality. In J. W. Doran, D. C. Coleman, D. F. Bezdicek & B. A. Stewart (Eds.), *Defining soil quality for a sustainable environment* (pp. 3–21). Soil Science Society of America.
- Espinoza, L., Slaton, N. A., & Mozaffari, M. (2012). *Understanding the numbers on your soil test report*. University of Arkansas Cooperative Extension Service. <https://www.uaex.uada.edu/publications/PDF/FSA-2118.pdf>
- Fassbender, H. W., & Bornemisza, E. (2018). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Ferreras, L., Gómez, E., Toresani, S., Firpo, I., & Rotondo, R. (2007). *Indicadores de calidad física del suelo*. INTA.
- Food and Agriculture Organization (FAO) & Intergovernmental Technical Panel on Soils (ITPS). (2015). *Estado mundial del recurso suelo 2015 (SWSR)*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura e Intergovernmental Technical Panel on Soils. <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cc27dd36-e535-44a4-827a-efc032ca9b41/>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2004). *Carbon sequestration in dryland soils*. World Soil Resources Reports No. 102. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Recuperado de <https://www.fao.org/4/y5738e/y5738e00.htm>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2010). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010: Informe principal. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/3/i1757s/i1757s.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2005). *The importance of soil organic matter: Key to drought-resistant soil and sustained food production*. FAO. <https://www.fao.org/3/a0100e/a0100e00.htm>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2008). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010: Directrices para los países*. FAO.
- Frelich, L. (2016). Forest dynamics. *F1000Research*, 5, F1000 Faculty Rev-183. <https://doi.org/10.12688/f1000research.7412.1>

- Garay, A. M. (2024). *Características de los indicadores físicos, químicos y biológicos en su estado actual del suelo en subparcelas con especies forestales del bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS) Tingo María*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/3000>
- García, L. M. (2016). *Características físicas y químicas del suelo y su influencia en la regeneración natural del bosque semi-húmedo de la reserva UNESUM. Plan de manejo agroforestal*. [Tesis de maestría, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/1687>
- Gliessman, R. (2002). *Agroecología: Procesos ecológicos en agricultura sostenible*. CATIE.
- Global Forest Resources Assessment 2020*. (2020). FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9825en>
- Guerrero, R. (2000). *Manejo de suelos en sistemas agrícolas*. Editorial Trillas.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2020). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-hill.
- Hillel, D. (1998). *Environmental soil physics*. Academic Press.
- Holdridge, L. R. (1987). *Ecología basada en zonas de vida* (No. 83). IICA Biblioteca Venezuela.
- Huaman, L. M. (2024). *Calidad de suelos en parcelas de medición permanente (PPM) a diferentes altitudes en el bosque reservado de la unas (BRUNAS) Tingo María – Perú*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/3001>
- Husch, B., Beers, T. W., & Kershaw, J. A. (2003). *Forest mensuration* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- Inocencio-Vásquez, E. T., & Florida-Rofner, N. (2022). Comportamiento espacial de indicadores fisicoquímicos y calidad del suelo en plantación de *Theobroma cacao* en Padre Abad, Ucayali, Perú. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. 25(2), e2320. <https://doi.org/10.31910/rudca.v25.n2.2022.2320>
- Jaramillo, D. F. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Universidad Nacional de Colombia. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/70085>

- Jury, W. A., & Horton, R. (2004). *Soil physics* (6th ed.). John Wiley & Sons.
- Klepac, D. (1976). *Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales*. Universidad de Zagreb.
- Laboratorio de Análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes. (2018). Métodos seguidos en el análisis de suelos y tabla de interpretación. Facultad de Agronomía – Departamento de Suelos. Universidad Nacional Agraria La Molina. 1 p.
- Lal, R. (2016). Soil health and carbon management. *Food and Energy Security*, 5(4), 212–222. <https://doi.org/10.1002/fes3.96>
- Lamprecht, H. (1990). *Silvicultura en los trópicos*. GTZ.
- Mackay, D.S., Ahl, D. E., Ewers, B. E., Gower, S. T., Burrows, S. N., Samanta, S., & Davis, K. J. (2002). Efectos de las clasificaciones agregadas de la composición forestal en las estimaciones de evapotranspiración en un bosque del norte de Wisconsin. *Global Change Biology*, 8 (12), 1253-1265.
- Malhi, Y., Doughty, C., Goldsmith, G., Metcalfe, D., Girardin, C., Marthews, T., Del Aguila-Pasquel, J., Aragão, L., Araujo-Murakami, A., Brando, P., Da Costa, A., Silva-Espejo, J., Farfán, F., Galbraith, D., Quesada, C., Rocha, W., Salinas-Revilla, N., Silvério, D., Meir, P., & Phillips, O. (2015). The linkages between photosynthesis, productivity, growth and biomass in lowland Amazonian forests. *Global Change Biology*, 21(6), 2283-2295. <https://doi.org/10.1111/gcb.12859>
- Manta, M. (1998). *Análisis silvicultural de dos tipos de bosque húmedo de bajura en la vertiente atlántica de Costa Rica*. CATIE.
- Marcos, C. (1997). *Plan maestro para el establecimiento de un arboreto en el Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/944>
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2013). Guía para el muestreo de suelos. Lima, San Isidro, Lima: MAVET IMPRESIONES.
- Norden, N., Angarita, H., Bongers, F., Martínez-Ramos, M., Granzow-de La Cerda, I., Van Breugel, M., Lebrija-Trejos, E., Meave, J. A., Vandermeer, J., Williamson, G. B., Finegan, B., Mesquita, R., & Chazdon, R. L. (2015). Successional dynamics in Neotropical forests

- are as uncertain as they are predictable. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(26), 8013-8018. <https://doi.org/10.1073/pnas.1500403112>
- Parr, J. F., Papendick, R. I., Hornick, S. B y Meyer, R. E. (1992). Calidad del suelo: atributos y relación con la agricultura alternativa y sostenible. *Revista Estadounidense de Agricultura Alternativa*, 7 (1-2), 5-11.
- Phillips, O., Aragão, L., Lewis, S., Fisher, J., Lloyd, J., López-González, G., Malhi, Y., Monteagudo, A., Peacock, J., Quesada, C., Van Der Heijden, G., Almeida, S., Amaral, I., Arroyo, L., Aymard, G., Baker, T., Bánki, O., Blanc, L., Bonal, D., Torres-Lezama, A. (2009). Drought Sensitivity of the Amazon Rainforest. *Science*, 323(5919), 1344-1347. <https://doi.org/10.1126/science.1164033>
- Pommerening, A., Szmyt, J., & Duchiron, M.S. (2024). Revisiting silvicultural systems: Towards a systematic and generic design of tree regeneration methods. *Trees, Forests and People*, 17, 100597. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100597>
- Porta, J., López-Acevedo Reguerín, M., & Roquero de Laburu, C. (2003). *Edafología: Para la agricultura y el medio ambiente*. Mundi-Prensa.
- Prodan, M., Peters, R., Cox, F., & Real, P. (1997). *Mensura forestal*. GTZ.
- Puerta, R. H. (2007). *Modelo digital de elevación del bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María-Perú*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/80678075-47e5-4b29-810f-36a8897de5b4>
- Pulgar Vidal, J. (1987). *Geografía del Perú: Las ocho regiones naturales del Perú*. Lima: Editorial Universo.
- Quispicho, S. T. (2024). *Relación del factor suelo y microclima con la diversidad de flora en la colina baja del bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva - Huánuco, 2023*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/3065>
- Ruiz, A. E. (2025). *Propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo degradado en proceso de restauración en el BRUNAS*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/3535>

- Sánchez, P. A. (2019). *Properties and management of soils in the tropics*. Cambridge University Press.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2012). *Subíndice de uso sustentable del suelo: Metodología de cálculo*. FAO-SAGARPA.
- Sepúlveda, T. V. (2005). *Suelos contaminados por metales y metaloides: Muestreo y alternativas para su remediación*. Instituto Nacional de Ecología.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2025). *Clima en la región Huánuco*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. <https://www.senamhi.gob.pe>
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR). (2016). *Lineamientos para el manejo forestal sostenible en el Perú*. Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre.
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR). (2017). *Nuestros bosques en números*. <http://repositorio.serfor.gob.pe/bitstream/SERFOR/489/1/SERFOR%202017%20Nuestros%20Bosques%20en%20Numeros.pdf>
- Smith, D. M., Larson, B. C., Kelty, M. J., & Ashton, P. M. (1997). *The practice of silviculture: Applied forest ecology*. John Wiley & Sons.
- Soil Survey Staff. (1993). *Soil survey manual*. USDA.
- Telles Antonio, R., Alanís Rodríguez, E., Jiménez Pérez, J., Aguirre Calderón, O. A., Treviño Garza, E. J., & de los Santos Posadas, H. M. (2021). Características edáficas y topográficas asociadas con el crecimiento en volumen de *Gmelina arborea* Roxb., en Tlatlaya, Estado de México. *Madera y Bosques*, 27(1), e2711987. <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2711987>
- Trentanovi, G., Campagnaro, T., Sitzia, T., Chianucci, F., Vacchiano, G., Ammer, C., Ciach, M., Nagel, T., Del Río, M., Paillet, Y., Munzi, S., Vandekerkhove, K., Bravo-Oviedo, A., Cutini, A., D'Andrea, E., De Smedt, P., Doerfler, I., Fotakis, D., Heilmann-Clausen, J., Burrascano, S. (2023). Words apart: Standardizing forestry terms and definitions across

- European biodiversity studies. *Forest Ecosystems*, 10, 100128.
<https://doi.org/10.1016/j.fecs.2023.100128>
- Ugalde, L. A. (2003). *Guía para el establecimiento y medición de parcelas para el monitoreo y evaluación del crecimiento de árboles en investigación y en programas de reforestación con la metodología del sistema MIRA*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- United States Department of Agriculture (USDA). (1999). *Soil quality test kit guide*. Agricultural Research Service & Natural Resources Conservation Service – Soil Quality Institute.
- Vancley, J. K. (1994). *Modelling forest growth and yield: Applications to mixed tropical forests*. CAB International.
- Vandana, V. J., Latore, A. M., Patel, K., Diwakar, A. K., Prajapati, S. K., Sachan, D. S., & Soni, R. L. (2023). Study of physio-chemical properties of soil in various land use systems of Krishna District, Andhra Pradesh, India. *International Journal of Plant & Soil Science*, 35(11), 1–10. <https://doi.org/10.9734/IJPSS/2023/v35i112959>
- Vargas, R. (2009). *Guía para la descripción de suelos*. FAO.
<https://agris.fao.org/search/en/providers/122621/records/6473665e53aa8c89630cce74>
- Vásquez, H. V., Valqui, L., Bobadilla, L. G., Arbizu, C. I., Alegre, J. C., & Maicelo, J. L. (2021). Influence of arboreal components on the physical-chemical characteristics of the soil under four silvopastoral systems in northeastern Peru. *Heliyon*, 7(8), e07725.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07725>
- Wadsworth, F. H. (2000). *Producción forestal para América tropical*. USDA Forest Service.
- Xiao, C., You, R., Zhu, N., Mi, X., Gao, L., Zhou, X., & Zhou, G. (2023). Variation of soil physicochemical properties of different vegetation restoration types on subtropical karst area in southern China. *PLOS ONE*, 18(3), e0282620.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0282620>
- Young, A. (1991). *Soil fertility and land resources in tropical Africa*. CAB International.

Zavaleta, G. (1992). *Edafología: El suelo en relación con la producción*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

ANEXOS

Anexo 1. Tabulación de datos.

Tabla 16. Cálculo de volumen de árbol en pie.

Parcela permanente de medición	Categoría	Dap promedio (m)	Altura total promedio (m)	Área basal (m ²)	Volumen de árbol en pie (m ³)	Volumen total (m ³)
PPM1	Fustal	0,20	19,34	4,18	60,36	112,86
	Árbol maduro	0,51	28,89	2,79	52,50	
PPM2	Fustal	0,19	16,97	5,58	72,82	123,91
	Árbol maduro	0,46	27,28	2,64	51,09	
PPM3	Fustal	0,19	16,35	5,09	59,77	107,32
	Árbol maduro	0,57	27,32	2,64	47,56	

Nota: la superficie de las parcelas permanentes fue 0,25 ha.

Tabla 17. Número de familias y especies forestales por parcela.

Parcela permanente de medición	Altitud (m.s.n.m.)	Categoría	Número de individuos	Número de familias	Número de especies
PPM1	825	Fustal	117	19	32
		Árbol maduro	13	4	6
PPM2	796	Fustal	163	21	36
		Árbol maduro	14	11	12
PPM3	873	Fustal	164	16	32
		Árbol maduro	10	6	7

Nota: la superficie de las parcelas permanentes fue 0,25 ha.

Tabla 18. Diámetro promedio por familia de la PPM 1.

Familia	Promedio DAP (cm)
Annonaceae	35.63
Apocynaceae	28.70
Araliaceae	21.50
Bignonaceae	45.30
Burseraceae	17.37
Clusiaceae	20.65
Euphorbiaceae	17.11
Fabaceae	40.13
Lamiaceae	22.35
Lauraceae	19.71
Lecythidaceae	22.70
Malvaceae	18.48
Melastomataceae	37.31
Meliaceae	38.10
Moraceae	18.40
Myristicaceae	18.09
Rubiaceae	20.84
Sapotaceae	14.85
Urticaceae	25.23

Tabla 19. Diámetro promedio por familia de la PPM 2.

Familia	Promedio DAP (cm)
Annonaceae	20.95
Apocynaceae	10.70
Araliaceae	21.50
Bignonaceae	29.45
Burseraceae	17.95
Clusiaceae	23.56
Euphorbiaceae	20.61
Fabaceae	22.78
Lamiaceae	17.78
Lauraceae	22.40
Lecythidaceae	22.75
Malvaceae	24.86
Melastomataceae	28.70
Meliaceae	79.00
Moraceae	28.60
Myristicaceae	17.79
Myrtaceae	17.68
Rubiaceae	17.47
Sapotaceae	17.50
Urticaceae	26.13

Tabla 20. Diámetro promedio por familia de la PPM 3.

Familia	Promedio DAP (cm)
Annonaceae	23.13
Araliaceae	30.50
Bignonaceae	27.55
Burseraceae	18.82
Clusiaceae	35.60
Euphorbiaceae	17.06
Fabaceae	38.90
Lauraceae	20.57
Lecythidaceae	71.10
Malvaceae	11.13
Melastomataceae	34.07
Moraceae	27.85
Myristicaceae	23.36
Myrtaceae	11.00
Rubiaceae	15.93
Urticaceae	22.79

Anexo 2. Especies más abundantes por parcela de medición.

Tabla 21. Especies más abundantes de la PPM 1.

I.D	Especie	Abundancia
1	<i>Pseudosenefeldera inclinata</i> (Müll. Arg.) Esser	40
2	<i>Miconia longifolia</i> (Aubl.) D.C.	9
3	<i>Cinchona micrantha</i> Ruiz & Pav.	7
4	<i>Bursera graveolens</i> (Kunth) Triana & Planch.	6
5	<i>Theobroma subincanum</i> Mart.	6
6	<i>Virola elongata</i> (Benth.) Warb	6
7	<i>Brosimum acutifolium</i> Huber	5
8	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke	5
9	<i>Guatteria modesta</i> Diels	4
10	<i>Inga pezizifera</i> Benth.	3
11	<i>Aniba perutilis</i> Hemsl.	3
12	<i>Cecropia sciadophylla</i> Mart.	3
13	<i>Dacryodes peruviana</i> (Loes.) H.J. Lam	3
14	<i>Pourouma guianensis</i> Aubl.	3
15	<i>Aniba panurensis</i> (Meisn.) Mez	2
16	<i>Didymopanax morototoni</i> (Aubl.) Decne. & Planch.	2
17	<i>Hydrochorea pedicellaris</i> (DC.) M.V.B. Soares, Iganci & M.P. Morim	2
18	<i>Nectandra cuspidata</i> Nees & Mart.	2
19	<i>Pourouma minor</i> Benoist	2
20	<i>Symphonia globulifera</i> L. f.	2
21	<i>Vitex pseudolea</i> Rusby	2
22	<i>Aspidosperma parvifolium</i> A. DC.	1
23	<i>Brosimum rubescens</i> Taub.	1
24	<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) S.A.Mori.	1
25	<i>Guarea kunthiana</i> A. Juss.	1
26	<i>Hevea guianensis</i> Aubl.	1
27	<i>Iryanthera hostmannii</i> (Benth.) Warb.	1
28	<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D. Don	1
29	<i>Manilkara bidentata</i> (A. DC.) A. Chev.	1
30	<i>Miconia dolichorrhyncha</i> Naudin	1
31	<i>Parkia pendula</i> (Willd.) Benth. ex Walp.	1
32	<i>Pouteria cuspidata</i> (A. DC.) Baehni	1
33	<i>Tachigali cavipes</i> (Spruce ex Benth.) J.F. Macbr.	1
34	<i>Virola pavonis</i> (A. DC.) A.C. Sm.	1
Total general		130

Nota: unidad fisiográfica: colina alta.

Tabla 22. Especies más abundantes de la PPM 2.

I.D	Especie	Abundancia
1	<i>Pseudosenefeldera inclinata</i> (Müll. Arg.) Esser	41
2	<i>Bursera graveolens</i> (Kunth) Triana & Planch.	13
3	<i>Dacryodes peruviana</i> (Loes.) H.J. Lam	13
4	<i>Virola pavonis</i> (A. DC.) A.C. Sm.	12
5	<i>Cinchona micrantha</i> Ruiz & Pav.	8
6	<i>Aniba panurensis</i> (Meisn.) Mez	7
7	<i>Guatteria modesta</i> Diels	6
8	<i>Parkia pendula</i> (Willd.) Benth. ex Walp.	5
9	<i>Pourouma guianensis</i> Aubl.	5
10	<i>Theobroma subincanum</i> Mart.	5
11	<i>Vitex pseudolea</i> Rusby	5
12	<i>Aniba perutilis</i> Hemsl.	4
13	<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) S.A. Mori	4
14	<i>Eugenia uniflora</i> L.	4
15	<i>Miconia longifolia</i> (Aubl.) D.C.	4
16	<i>Pourouma minor</i> Benoist	4
17	<i>Inga peizifera</i> Benth.	3
18	<i>Cecropia sciadophylla</i> Mart.	3
19	<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pav.	3
20	<i>Didymopanax morototoni</i> (Aubl.) Decne. & Planch.	3
21	<i>Symphonia globulifera</i> L. f.	3
22	<i>Virola elongata</i> (Benth.) Warb.	3
23	<i>Apeiba membranacea</i> Spruce ex Benth.	2
24	<i>Brosimum acutifolium</i> Huber	2
25	<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D. Don	2
26	<i>Parkia multijuga</i> Benth.	2
27	<i>Alchornea glandulosa</i> Poepp.	1
28	<i>Aspidosperma rigidum</i> Rusby	1
29	<i>Calycophyllum megistocaulum</i> (K. Krause) C.M. Taylor	1
30	<i>Cinchona pubescens</i> Vahl	1
31	<i>Guarea kunthiana</i> A. Juss.	1
32	<i>Hevea guianensis</i> Aubl.	1
33	<i>Hydrochorea pedicellaris</i> (DC.) M.V.B. Soares, Iganci & M.P. Morim	1
34	<i>Iryanthera elliptica</i> Ducke.	1
35	<i>Miconia minutiflora</i> (Bonpl.) DC.	1
36	<i>Ormosia amazonica</i> Ducke	1
37	<i>Pouteria cuspidata</i> (A. DC.) Baehni	1
Total general		177

Nota: unidad fisiográfica: colina baja.

Tabla 23. Especies más abundantes de la PPM 3.

I.D	Especie	Abundancia
1	<i>Pseudosenefeldera inclinata</i> (Müll. Arg.) Esser	74
2	<i>Cinchona micrantha</i> Ruiz & Pav.	18
3	<i>Cecropia sciadophylla</i> Mart.	14
4	<i>Pourouma guianensis</i> Aubl.	7
5	<i>Inga pezizifera</i> Benth.	5
6	<i>Rhodothyrus macrophyllus</i> (Ducke) Esser	5
7	<i>Guatteria modesta</i> Diels	4
8	<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D. Don	4
9	<i>Aniba panurensis</i> (Meisn.) Mez	3
10	<i>Bursera graveolens</i> (Kunth) Triana & Planch.	3
11	<i>Dacryodes peruviana</i> (Loes.) H.J. Lam	3
12	<i>Helicostylis tomentosa</i> (Poepp. & Endl.) J.F. Macbr.	3
13	<i>Iryanthera hostmannii</i> (Benth.) Warb.	3
14	<i>Tachigali cavipes</i> (Spruce ex Benth.) J.F. Macbr.	3
15	<i>Aniba perutilis</i> Hemsl.	2
16	<i>Brosimum rubescens</i> Taub.	2
17	<i>Miconia longifolia</i> (Aubl.) D.C.	2
18	<i>Theobroma subincanum</i> Mart.	2
19	<i>Virola elongata</i> (Benth.) Warb	2
20	<i>Virola pavonis</i> (A. DC.) A.C. Sm.	2
21	<i>Alchornea glandulosa</i> Poepp.	1
22	<i>Brosimum acutifolium</i> Huber	1
23	<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.	1
24	<i>Calycophyllum megistocaulum</i> (K. Krause) C.M. Taylor	1
25	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke	1
26	<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pav.	1
27	<i>Didymopanax morototoni</i> (Aubl.) Decne. & Planch.	1
28	<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) S.A. Mori	1
29	<i>Eugenia uniflora</i> L.	1
30	<i>Hevea guianensis</i> Aubl.	1
31	<i>Miconia minutiflora</i> (Bonpl.) DC.	1
32	<i>Pourouma minor</i> Benoist	1
33	<i>Symphonia globulifera</i> L. f.	1
Total general		174

Nota: unidad fisiográfica: colina alta.

Anexo 3. Panel fotográfico.



Figura 9. Medición de diámetro altura de pecho.



Figura 10. Determinación de la altura total.



Figura 11. Muestreo de suelo.



Figura 12. Homogeneización de la muestra de suelo.



Figura 13. Visita de supervisión del jurado en campo.



ANALISIS DE SUELOS



SOLICITANTE:	LOPEZ ESTEBAN KYARA JUNET	FECHA DE REPORTE:	13/08/2024
PROCEDENCIA:	BRUNAS - TINGO MARIA	FECHA DE RECEPCIÓN:	9/8/2024
REFERENCIA:		MUESTREO POR:	EL SOLICITANTE
TIPO:	SUELO	RECIBO O FACTURA ELECTRÓNICA N°	52513

RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO

N°	DATOS			ANÁLISIS MECÁNICO				ANÁLISIS QUÍMICO																						
				Arena	Arcilla		Limo	Clase Textural	pH	CE	Materia Orgánica		N	C	P	K ₂ O	CIC		Ca	Mg	K	Na	Al	H	CICe		Bases Cambiables	Acidez Cambiable	Saturación de Aluminio	
	Ao	Arc	M.O.		%	Orgánico					disponible	ppm																		ppm
	%	%	%		%	%					ppm	ppm																		
	COD SOLICITANTE		CAMBIABLES Cmo(+)/kg																											
CODIGO DEL LAB.	PPM 1	64	22	14	Franco Arcillo Arenoso	3.39	2.14	2.91	0.1454	1.6864	2.142	59.3526	----	1.630	0.254	0.071	0.058	5.800	6.200	14.013	14.363	85.637	41.391							
2	S24-0975	PPM 2	54	24	22	Franco Arcillo Arenoso	3.25	0.17	3.01	0.1504	1.7445	1.975	96.3500	----	1.018	0.179	0.077	0.053	7.250	7.400	15.977	8.307	91.693	45.377						
3	S24-0976	PPM 3	58	24	18	Franco Arcillo Arenoso	3.30	0.20	3.46	0.1729	2.0062	2.076	98.1969	----	1.152	0.178	0.083	0.047	6.525	6.500	14.485	10.078	89.922	45.048						



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

[Firma]

Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



MÉTODOS ANALÍTICOS

01. pH método del potenciómetro, relación suelo - agua 1:1
02. C.E. Conductímetro - Extracto Acuoso
03. Materia orgánica: Método de Walkley y Black
04. Nitrógeno Total: Micro Kjeldahl
05. Fósforo disponible: Método de Olsen modificado. Extracto de NH_4CO_3 0.5M, pH 8.5
06. Potasio Disponible: Método de acetato de amonio 1N, pH 7.0
07. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC): Método de acetato de amonio 1N, pH 7.0
Ca Mg K Na - Absorción atómica
08. C.I.C efectiva: Desplazamiento con KCl 1N (Suelos en pH < 5.5)
Aluminio más Hidrógeno: Método de Yuan
09. Densidad Aparente, Densidad Real, Porcentaje de Porosidad: Método de la Probeta
10. Humedad Relativa, Capacidad de Campo: Método de la Probeta
11. Determinación de elementos menores Hierro, Cobre, Zinc y Manganeso: Método Mellich III - EAA
12. Determinación del Boro: Método de la Azometina - H
13. Cadmio y Plomo disponible: Método EDTA - EAA
14. Cadmio Total: Extracción USEPA 3050 - EAA
15. Cadmio Soluble: Lectura directa de la solución en el espectrofotómetro de Absorción Atómica
16. Determinación colorimétrica de molibdeno

INTERPRETACIÓN DEL pH

Según Schaeffer y Schachtschabel	pH en KCl	UNALM	pH en agua
Extremadamente ácido	< 4.0	Fuertemente ácido	< 5.5
Fuertemente ácido	4.0 - 4.9	Moderadamente ácido	5.5 - 6.0
Medianamente ácido	5.0 - 5.9	Ligeramente ácido	6.1 - 6.5
Ligeramente ácido	6.0 - 6.9	Neutro	7.0
Neutro	7.0	Ligeramente alcalino	7.2 - 7.8
Ligeramente alcalino	7.1 - 8.0	Moderadamente alcalino	7.9 - 8.4
Mediana alcalino	8.1 - 9.0	Fuertemente alcalino	> 8.5
Fuertemente alcalino	9.1 - 10		
Extremadamente alcalino	> 10		

Interpretación de Carbonato de Calcio	Rango (%)
Bajo	< 1
Medio	1-5
Alto	5-15
Muy alto	> 15

Interpretación de Materia Orgánica	Rango (%)
Bajo	< 2
Medio	2-4
Alto	> 4

Interpretación de Nitrógeno Total	Rango (%)
Bajo	< 0.1
Medio	0.1-0.2
Alto	> 0.2

Interpretación de Fósforo Disponible	Rango (ppm)
Bajo	< 7
Medio	7-14
Alto	> 14



Interpretación de Salinidad	Rango (dS/m)
No salino	0-2
Muy ligeramente salino	2-4
Ligeramente salino	4-8
Moderadamente salino	8-16
Fuertemente salino	> 16

Interpretación de Potasio Disponible	Rango (Kg K ₂ O/ha)	Rango (ppm)
Bajo	< 300	< 100
Medio	300-600	100-240
Alto	> 600	> 240

GRACIAS POR LA CONFIANZA Y PREFERENCIA



CERTIFICADO

El que suscribe, profesor de Ecología con línea de investigación en Sistemática Vegetal, de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, certifica que los especímenes botánicos colectados en el Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, correspondientes al proyecto de tesis **CRECIMIENTO DE ESPECIES FORESTALES Y CARACTERISTICAS DEL SUELO DE TRES PARCELAS PERMANENTES DE MEDICIÓN DOCE AÑOS DESPUÉS DE UN TRATAMIENTO SILVICULTURAL EN EL BOSQUE RESERVADO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA, TINGO MARÍA – PERÚ**, presentado por Kyara Junet LOPEZ ESTEBAN para su determinación, pertenecen a la especie que se indica a continuación:

Nº	Nombre Científico	Familia	Nombre Común
1	<i>Guatteria modesta</i> Diels	Annonaceae	Carahuasca
2	<i>Aspidosperma parvifolium</i> A. DC.	Apocynaceae	Quillobordón
3	<i>Aspidosperma rigidum</i> Rusby	Apocynaceae	Remo caspi
4	<i>Didymopanax morototoni</i> (Aubl.) Decne. & Planch.	Araliaceae	Aceite caspi
5	<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D. Don	Bignonaceae	Huamanzamana
6	<i>Bursera graveolens</i> (Kunth) Triana & Planch.	Burseraceae	Palo santo
7	<i>Dacryodes peruviana</i> (Loes.) H.J. Lam	Burseraceae	Copal
8	<i>Symphonia globulifera</i> L. f.	Clusiaceae	Palo azufre
9	<i>Alchornea glandulosa</i> Poepp.	Euphorbiaceae	Zancudo caspi
10	<i>Hevea guianensis</i> Aubl.	Euphorbiaceae	Shiringa
11	<i>Pseudosenefeldera inclinata</i> (Müll. Arg.) Esser	Euphorbiaceae	Huangana
12	<i>Rhodothyrsus macrophyllus</i> (Ducke) Esser	Euphorbiaceae	Huangana caspi
13	<i>Inga peizizifera</i> Benth.	Fabaceae	Shimbillo
14	<i>Hydrochorea pedicellaris</i> (DC.) M.V.B. Soares, Iganci & M.P. Morim	Fabaceae	Vilco Pashaco
15	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke	Fabaceae	Tornillo
16	<i>Ormosia amazonica</i> Ducke	Fabaceae	Huayruro
17	<i>Parkia multijuga</i> Benth.	Fabaceae	Pashaco curtidor
18	<i>Parkia pendula</i> (Willd.) Benth. ex Walp.	Fabaceae	Pashaco negro
19	<i>Tachigali cavipes</i> (Spruce ex Benth.) J.F. Macbr.	Fabaceae	Ucshaquiro blanco
20	<i>Vitex pseudolea</i> Rusby	Lamiaceae	Pali perro
21	<i>Aniba panurensis</i> (Meisn.) Mez	Lauraceae	Moena
22	<i>Aniba perutilis</i> Hemsl.	Lauraceae	Moena negra
23	<i>Nectandra cuspidata</i> Nees & Mart.	Lauraceae	Moena amarilla
24	<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) S.A. Mori	Lecythidaceae	Machimango
25	<i>Apeiba membranacea</i> Spruce ex Benth.	Malvaceae	Peine de mono
26	<i>Theobroma subincanum</i> Mart.	Malvaceae	Cacahuillo



Universidad Nacional Agraria de la Selva
Facultad de Recursos Naturales Renovables
Departamento Académico de Ciencias Ambientales
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental
Cátedra de Ecología y Sistemática Vegetal

C-009-2025-JB-FRNR-UNAS

27	<i>Miconia longifolia</i> (Aubl.) D.C.	Melastomataceae	Miconia
28	<i>Miconia minutiflora</i> (Bonpl.) DC.	Melastomataceae	Rifari blanco
29	<i>Miconia dolichorrhyncha</i> Naudin	Melastomataceae	Rifari
30	<i>Guarea kunthiana</i> A. Juss.	Meliaceae	Requia
31	<i>Brosimum acutifolium</i> Huber	Moraceae	Manchinga colorada
32	<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.	Moraceae	Machinga
33	<i>Brosimum rubescens</i> Taub.	Moraceae	Palo peruano
34	<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pav.	Moraceae	Tulpay
35	<i>Helicostylis tomentosa</i> (Poepp. & Endl.) J.F. Macbr.	Moraceae	Chimicua
36	<i>Iryanthera elliptica</i> Ducke.	Myristicaceae	Cumala roja
37	<i>Iryanthera hostmannii</i> (Benth.) Warb.	Myristicaceae	Cumala amarilla
38	<i>Virola elongata</i> (Benth.) Warb.	Myristicaceae	Cumala blanca
39	<i>Virola pavonis</i> (A. DC.) A.C. Sm.	Myristicaceae	Cumala
40	<i>Eugenia uniflora</i> L.	Myrtaceae	Guayabilla
41	<i>Cinchona micrantha</i> Ruiz & Pav.	Rubiaceae	Quina
42	<i>Calycophyllum megistocaulum</i> (K. Krause) C.M. Taylor	Rubiaceae	Capirona de altura
43	<i>Cinchona pubescens</i> Vahl	Rubiaceae	Cinchona
44	<i>Manilkara bidentata</i> (A. DC.) A. Chev.	Sapotaceae	Quinilla
45	<i>Pouteria cuspidata</i> (A. DC.) Baehni	Sapotaceae	Caimitillo
46	<i>Cecropia sciadophylla</i> Mart.	Urticaceae	Cetico colorado
47	<i>Pourouma guianensis</i> Aubl.	Urticaceae	Uvilla macho
48	<i>Pourouma minor</i> Benoist	Urticaceae	Sacha uvilla

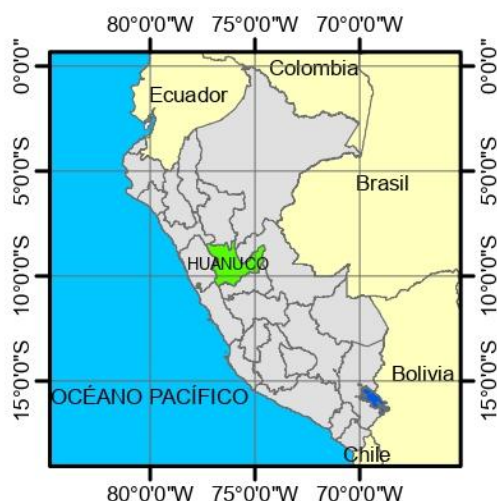
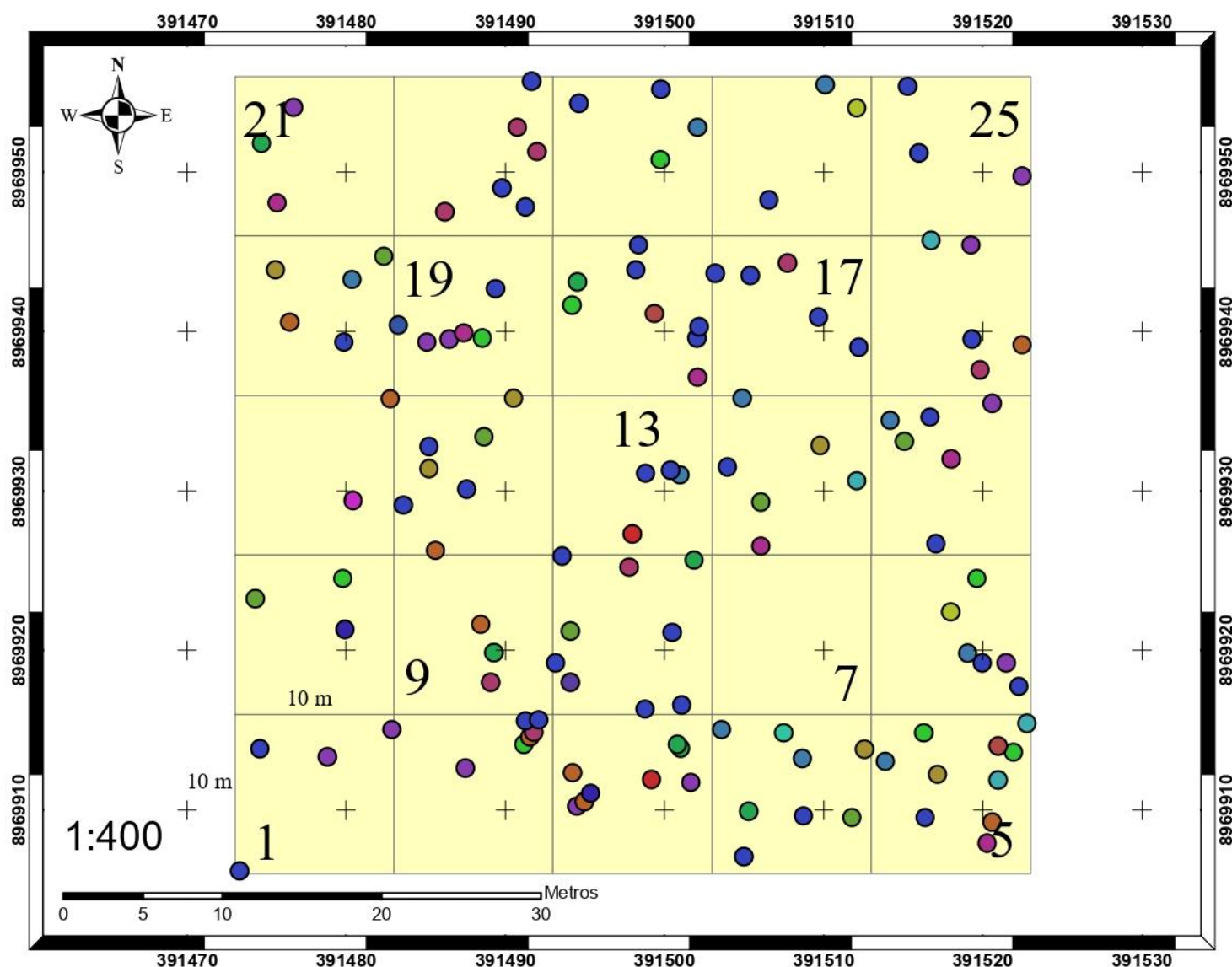
Se expide el presente certificado para los fines pertinentes.

Tingo María, 30 de octubre del 2025




Dr. Edilberto Chuquilín Bustamante
Profesor Principal
Jefe del Jardín Botánico-UNAS
Cátedra de Ecología y Sistemática Vegetal
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental
Facultad de Recursos Naturales Renovables
Universidad Nacional Agraria de la Selva

MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES DE LA PPM1



LEYENDA

PPM1

Familia

Clusiaceae	Melastomataceae
Euphorbiaceae	Meliaceae
Annonaceae	Moraceae
Apocynaceae	Myristicaceae
Araliaceae	Rubiaceae
Bignonaceae	Sapotaceae
Burseraceae	Malvaceae
Lamiaceae	Urticaceae
Lauraceae	
Lecythidaceae	



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



Tesis: PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DEL SUELO Y DEL VOLUMEN TOTAL EN TRES
PARCELAS PERMANENTES DE MEDICIÓN DEL BOSQUE RESERVADO DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA, TINGO MARÍA

Lugar de ejecución: Bosque Reservado de la UNAS Superficie: 0,25 ha

Datum: WGS84

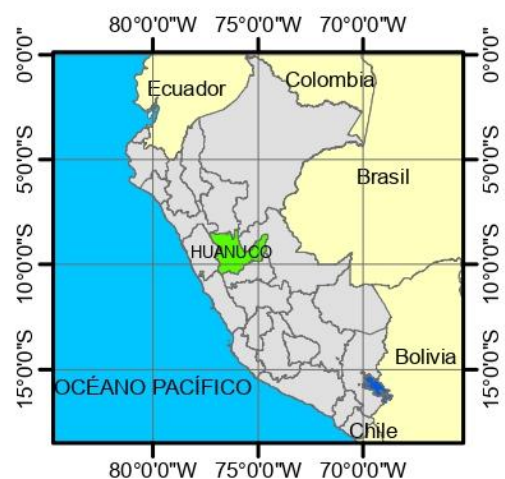
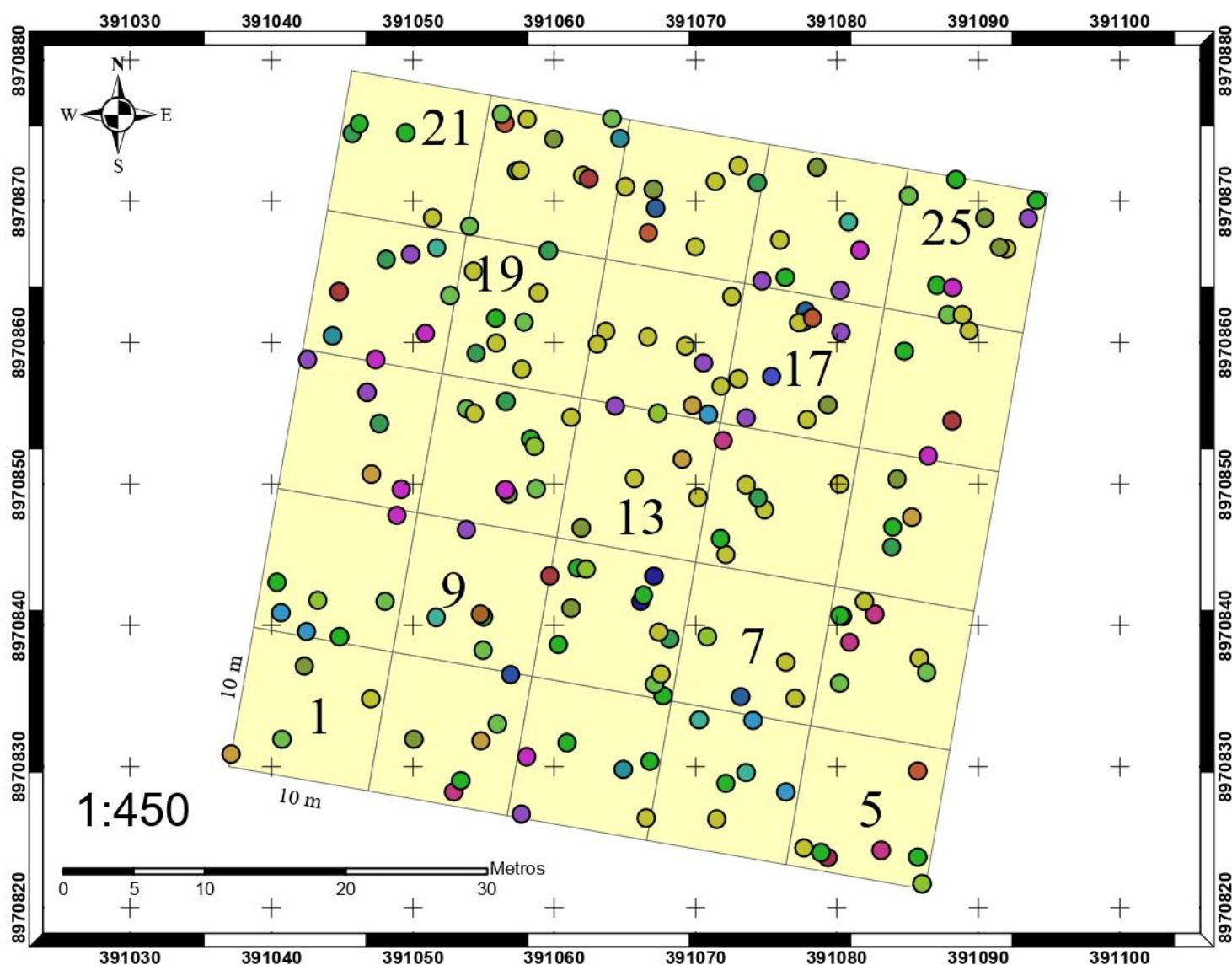
Proyección: UTM

Zona: 18S

Elaborado por: Kyara Junet Lopez Esteban

Revisado por: Ing. Jhony Flores Mendoza, Mg. Sc.

MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES DE LA PPM 2



LEYENDA

Familia

● Fabaceae	● Moraceae
● Annonaceae	● Lamiaceae
● Apocynaceae	● Lauraceae
● Araliaceae	● Lecythidaceae
● Bignoniaceae	● Malvaceae
● Burseraceae	● Melastomataceae
● Clusiaceae	● Meliaceae
● Euphorbiaceae	● Rubiaceae
	● Rubiaceae
	● Sapotaceae
	● Urticaceae



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



Tesis: PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DEL SUELO Y DEL VOLUMEN TOTAL EN TRES PARCELAS PERMANENTES DE MEDICIÓN DEL BOSQUE RESERVADO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA, TINGO MARÍA

Lugar de ejecución: Bosque Reservado de la UNAS

Superficie: 0,25 ha

Datum: WGS84

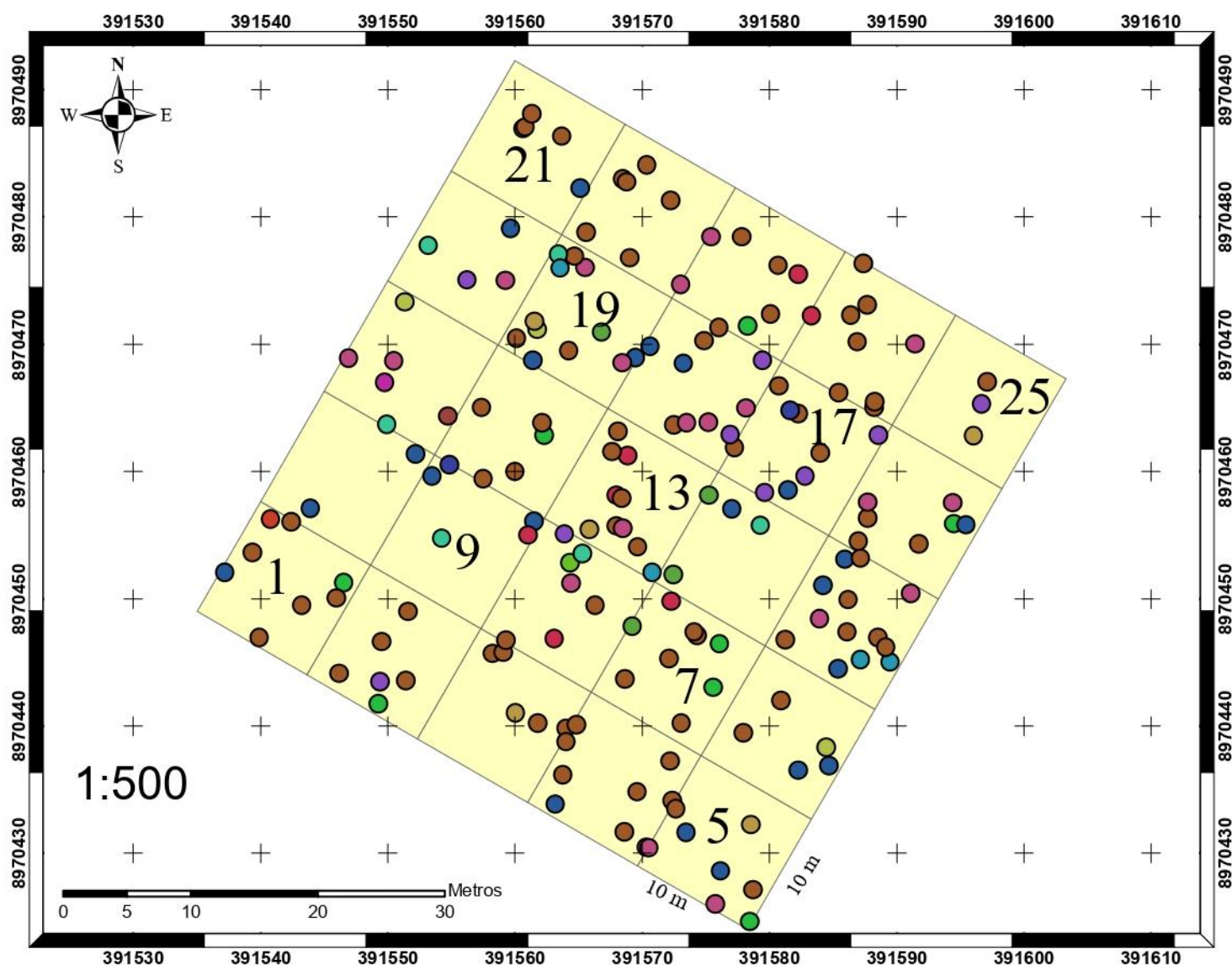
Proyección: UTM

Zona: 18S

Elaborado por: Kyara Junet Lopez Esteban

Revisado por: Ing. Jhony Flores Mendoza, Mg. Sc.

MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES DE LA PPM 3



LEYENDA

Familia

	Clusiaceae		Melastomataceae
	Euphorbiaceae		Moraceae
	Annonaceae		Fabaceae
	Araliaceae		Lauraceae
	Bignonaceae		Lecythidaceae
	Burseraceae		Malvaceae
			Myristicaceae
			Myrtaceae
			Rubiaceae
			Urticaceae



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



Tesis: PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DEL SUELO Y DEL VOLUMEN TOTAL EN TRES PARCELAS PERMANENTES DE MEDICIÓN DEL BOSQUE RESERVADO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA, TINGO MARÍA

Lugar de ejecución: Bosque Reservado de la UNAS	Superficie: 0,25 ha
Datum: WGS84	Proyección: UTM
Zona: 18S	

Elaborado por: Kyara Junet Lopez Esteban

Revisado por: Ing. Jhony Flores Mendoza, Mg. Sc.