

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



**CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL
SUELO DE UNA PLANTACIÓN DE *Dendrocalamus asper* EN UN
BOSQUE RESERVADO, TINGO MARÍA.**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO FORESTAL

PRESENTADO POR:

JORGE GIUSEPPE VELA JIMENES

2026



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°022-2026-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 02 de febrero de 2026, a horas 12:00 p.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería en Forestal de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

“CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DEL SUELO DE UNA PLANTACIÓN DE *Dendrocalamus asper* EN UN BOSQUE RESERVADO, TINGO MARÍA”

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

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

Tingo María, 17 de febrero de 2026


Ing. M. Sc. RAÚL ARAUJO TORRES
PRESIDENTE


Dr. JOSE DOLORES LEVANO CRISOSTOMO
MIEMBRO


Ing. MSc. JOSÉ ANTONIO DIONISIO ARMAS
MIEMBRO


Ing. MSc. ROBERT GILBERT PECHO DE LA CRUZ
ASESOR


Ing. MSc. BRAYAN ANDRE CALDAS DE LA CRUZ
ASESOR


Ing. MSc. CLEIDE SANTOS FLORES
ASESOR



UNAS

VICERRECTORADO DE
INVESTIGACIÓN

INSTITUTO DE
INVESTIGACIÓN

UNIDAD 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 079 - 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
CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DEL SUELO DE UNA PLANTACIÓN DE <i>Dendrocalamus asper</i> EN UN BOSQUE RESERVADO, TINGO MARÍA.	JORGE GIUSEPPE VELA JIMENES	10 % Diez	Menor a 20 %

Tingo María, 13 de marzo 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



Título	: Carbono orgánico y propiedades fisicoquímicas del suelo de una plantación de <i>Dendrocalamus asper</i> en un Bosque Reservado, Tingo María.
Área	: Gestión de Bosques y Plantaciones Forestales
Grupo de investigación	: Gestión de Bosques y Plantaciones Forestales
Línea de investigación	: Biomasa y ecología forestal
Autor	: VELA JIMENES, Jorge Giuseppe
Asesor (es)	: Ing. M. Sc. PECHO DE LA CRUZ, Robert Gilbert Ing. M. Sc. CALDAS DE LA CRUZ, Brayan Andre Ing. M. Cs. SANTOS FLORES, Cleide
Lugar de ejecución	: BRUNAS – Leoncio Prado.
Duración del trabajo	: 6 meses Fecha de inicio: 01-05-2025 Fecha termino: 01-10-2025
Financiamiento	: 4,568.30
FEDU	: NO
Propio	: SI
Otros	: NO

Enero, 2026

DEDICATORIA

A Dios, por brindarme las oportunidades necesarias para desarrollar este trabajo y acompañarme en cada etapa hasta su culminación.

A mi madre, Mercedes, y a mi padre, Jorge Luis, por su gran comprensión, apoyo y motivación, que hicieron posible la realización de este trabajo.

A Nahomi D., por motivarme y brindarme calma y fortaleza para alcanzar este resultado.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi sincero agradecimiento a mis asesores Ing. M. Sc. Robert Gilbert Pecho de la Cruz, Ing. M. Sc. Brayan Andre Caldas de la Cruz y Ing. M. Sc. Cleide Santos Flores, por su valiosa orientación académica, acompañamiento permanente y aportes técnicos y metodológicos durante el desarrollo de la presente investigación.

A la técnica del Laboratorio de Anatomía de la Madera, Sra. Consuelo, por su valioso apoyo durante las actividades de laboratorio, así como por su permanente disposición y colaboración en el manejo de equipos, preparación de muestras y ejecución de los ensayos requeridos.

De igual manera, agradezco a mis compañeros de la universidad Álvaro J., Diana G. y Maik Y., por su valiosa colaboración, apoyo constante y disposición durante el desarrollo y ejecución de la presente investigación.

INDICE

	Página.
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Marco teórico	3
2.1.1. El suelo	3
2.1.2. Carbono orgánico del suelo	4
2.1.3. Propiedades físicas del suelo	5
2.1.4. Propiedades químicas del suelo	6
2.1.5. Relación del carbono orgánico y las propiedades del suelo.....	7
2.1.6. Plantaciones de bambú.....	8
2.2. Estado del arte	9
2.2.1. Nivel internacional.....	9
2.2.2. Nivel nacional	12
2.2.3. Nivel regional.....	17
III. MATERIALES Y METODOS.....	22
3.1. Lugar de ejecución	22
3.1.1. Ubicación política	22
3.1.2. Ubicación geográfica	22
3.2. Materiales.....	24
3.2.1. Materiales y equipos	24
3.3. Criterios de investigación.....	24
3.3.1. Tipo de investigación.....	24
3.3.2. Nivel de investigación.....	25
3.3.3. Diseño de investigación	25
3.3.4. Población y muestra.....	26
3.3.5. Variables	26
3.3.6. Técnicas estadísticas	26
3.4. Metodología	27
3.4.1. Carbono orgánico del suelo	27
3.4.2. Propiedades físicas y químicas del suelo	29
3.4.3. Correlación del carbono almacenado con los indicadores fisicoquímicos.....	32
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33

4.1. Contenido de carbono orgánico del suelo de una plantación de <i>Dendrocalamus asper</i>	33
4.2. Propiedades físicas y químicas del suelo de una plantación de <i>Dendrocalamus asper</i>	39
4.2.1. Densidad aparente (g/cm ³)	39
4.2.2. Textura y conductibilidad eléctrica	44
4.2.3. Propiedades químicas del suelo	46
4.3. Relacionar el carbono orgánico del suelo con las propiedades física y químicas del suelo de una plantación de <i>Dendrocalamus asper</i>	51
V. CONCLUSION	55
VI. PROPUESTAS A FUTURO	56
VII. REFERENCIAS	57
ANEXO	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Carbono orgánico del suelo (t/ha) a tres profundidades	33
2. Prueba de Kruskal–Wallis para el carbono orgánico del suelo (t/ha) en los diferentes bloques	35
3. Prueba de U Mann–Whitney para el carbono orgánico del suelo (t/ha) en las posiciones de muestreo.....	36
4. Prueba de Kruskal–Wallis para el carbono orgánico del suelo (t/ha) en las diferentes profundidades del suelo	36
5. Densidad aparente (g/cm ³) del suelo	39
6. Prueba de Kruskal–Wallis para la densidad aparente (g/cm ³) en los diferentes bloques	41
7. Prueba de U Mann–Whitney para la densidad aparente (g/cm ³) en las posiciones de muestreo	41
8. Prueba de Kruskal–Wallis para para la densidad aparente (g/cm ³) en las diferentes profundidades del suelo	42
9. Textura y conductibilidad eléctrica del suelo	45
10. Propiedades químicas del suelo	47
11. Cationes cambiables del suelo por bloque (cmol(+)/kg)	49
12. Correlación de Spearman entre el carbono orgánico del suelo y propiedades físicas y químicas	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Ubicación del Bosque Reservado de la UNAS	22
2. Disposición de las matas de <i>Dendrocalamus asper</i>	28
3. Carbono orgánico del suelo a tres profundidades.....	35
4. Comparación de medias del carbono orgánico del suelo (t/ha).....	37
5. Densidad aparente (g/cm ³) del suelo a diferentes profundidades.....	40
6. Comparación de medias de la densidad aparente (g/cm ³)	42
7. Corplot de correlación de Spearman del carbono orgánico y las propiedades físicas y químicas.....	52
8. Reconocimiento de la parcela e instalación del banner	74
9. Delimitación para los puntos de muestreo.....	74
10. Marcado de los puntos de muestreo	75
11. Muestreo para densidad aparente del suelo	75
12. Obtención de muestras para densidad aparente a tres profundidades	76
13. Muestreo para fracción de carbono y propiedades físicas y químicas del suelo.....	76
14. Traslado de las muestras a laboratorio	77
15. Pesado de muestras de suelo.....	77
16. Secado de muestras de suelo en estufa	78

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo evaluar el carbono orgánico del suelo y su relación con las propiedades físicas y químicas en una plantación de *Dendrocalamus asper* en el Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, bajo un diseño no experimental y correlacional. El muestreo se realizó a tres profundidades (0–10, 10–20 y 20–30 cm), registrándose valores de carbono orgánico de 16.39, 13.48 y 10.96 t/ha, respectivamente, evidenciando una disminución progresiva con la profundidad; no se observaron diferencias relevantes entre posiciones de muestreo (Planta: 13.92 t/ha; Entre plantas: 13.79 t/ha) ni entre bloques (12.93–13.90 t/ha). Los suelos presentaron textura franco arcillo arenosa, baja conductividad eléctrica (0.02–0.11 dS/m), densidad aparente baja a moderada (0.70–0.84 g/cm³), pH fuertemente ácido (4.51–4.74), materia orgánica de 1.73–2.40 %, nitrógeno total de 0.09–0.12 %, fósforo disponible de 4.27–5.21 ppm y potasio disponible de 66.88–110.11 ppm. La correlación de Spearman mostró una asociación positiva fuerte entre el carbono orgánico y la densidad aparente ($\rho = 0.763$; $p < 0.001$), así como relaciones débiles con la textura: positiva con arena ($\rho = 0.334$; $p = 0.047$) y negativas con limo ($\rho = -0.366$; $p = 0.028$) y arcilla ($\rho = -0.336$; $p = 0.045$), sin relación significativa con pH, materia orgánica, N, P y K₂O ($p > 0.05$).

Palabras claves: Carbono orgánico del suelo, propiedades fisicoquímicas del suelo, plantaciones de bambú

ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate the organic carbon from the soil and its relationship to the physical and chemical properties on a *Dendrocalamus asper* plantation in the Universidad Nacional Agraria de la Selva's forest reserve in Tingo Maria, [Peru,] under a non-experimental and correlational design. The sampling was done at three depths (0–10, 10–20 and 20–30 cm), with values of 16.39, 13.48 and 10.96 t/ac, respectively, being recorded for the organic carbon, showing a progressive decrease with the depth; relevant differences were not observed between the sampling positions (plant: 13.92 t/ac; between plants: 13.79 t/ac) nor the blocks (12.93–13.90 t/ac). The soils presented a loamy clay like sand texture [with a] low electrical conductivity (0.02–0.11 dS/m), a low to moderate apparent density (0.70–0.84 g/cm³), a strongly acidic pH (4.51–4.74), an organic matter of 1.73–2.40 %, a total nitrogen of 0.09–0.12 %, an available phosphorous of 4.27–5.21 ppm, and an available potassium of 66.88–110.11 ppm. The Spearman correlation showed a strongly positive association between the organic carbon and the apparent density ($\rho = 0.763$; $p < 0.001$), as well as weak relationships with the texture: positive with the sand ($\rho = 0.334$; $p = 0.047$) and negative with the silt ($\rho = -0.366$; $p = 0.028$) and clay ($\rho = -0.336$; $p = 0.045$); with no significant relationship with the pH, organic matter, N, P, and K₂O ($p > 0.05$).

Keywords: organic carbon in the soil, physicochemical properties of the soil, bamboo plantations

I. INTRODUCCIÓN

El carbono orgánico del suelo representa un componente fundamental de los ecosistemas terrestres, influyendo directamente en su salud y funcionamiento. A nivel global, la gestión del carbono en el suelo se ha reconocido como una estrategia clave para la mitigación del cambio climático y la conservación de la fertilidad de la tierra. En este contexto, las plantaciones forestales de rápido crecimiento, como el bambú gigante (*Dendrocalamus asper*), emergen como sistemas con potencial para el secuestro de carbono y la producción sostenible de biomasa. En el ámbito nacional, el Perú cuenta con condiciones agroecológicas favorables para el desarrollo de plantaciones de bambú, ofreciendo una alternativa productiva con beneficios ambientales.

El Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva comprende zonas que contienen diversos ecosistemas, entre los cuales se destacan los bosques primarios, bosques secundarios, sistemas agroforestales, áreas de restauración del suelo, pastizales, zonas ganaderas y ecosistemas modificados por el ser humano (agroecosistemas).

Sin embargo, la comprensión de cómo estas plantaciones impactan las propiedades inherentes del suelo, incluyendo la acumulación de carbono orgánico y la dinámica de sus características físicas y químicas, sigue siendo un área de investigación relevante, especialmente en ecosistemas de importancia ecológica como los bosques reservados. La conversión de áreas a plantaciones de bambú podría inducir modificaciones en el almacenamiento de carbono y la disponibilidad de nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal, con implicaciones a largo plazo para la sostenibilidad de estas plantaciones y la integridad de los ecosistemas circundantes. Por ello, en Tingo María, caracterizada por su riqueza biológica y la presencia de áreas protegidas, se vuelve esencial evaluar la influencia de las plantaciones de *D. asper* en las propiedades edáficas para garantizar su manejo compatible con los objetivos de conservación y la funcionalidad del ecosistema.

¿Cuál es la cantidad de carbono orgánico y las propiedades fisicoquímicas del suelo en una plantación de *Dendrocalamus asper* en un Bosque Reservado, Tingo María?

El estudio busca evaluar el papel de las plantaciones de *Dendrocalamus asper* en la conservación y mejora de la calidad del suelo en el Bosque Reservado de Tingo María, con enfoque en su capacidad para almacenar carbono orgánico y mantener propiedades físico-químicas que favorezcan la sostenibilidad del ecosistema.

La evaluación del carbono orgánico y las características del suelo es fundamental para el manejo sostenible de los ecosistemas forestales. Comprender cómo las plantaciones de *Dendrocalamus asper* afectan estas variables permitirá desarrollar estrategias de manejo que optimicen la salud del suelo y contribuyan a la mitigación del cambio climático. Además, este estudio proporcionará información valiosa para la implementación de políticas de conservación en el Bosque Reservado, promoviendo prácticas que mejoren la calidad del suelo y fomenten la biodiversidad.

El estudio es relevante porque permitirá comprender el rol de *Dendrocalamus asper* en la dinámica del carbono edáfico y en la mejora o alteración de la calidad del suelo. Esta información puede ser utilizada como base para evaluar el impacto ecológico de las plantaciones de bambú en zonas de conservación y para proponer criterios técnicos en la planificación y manejo de suelos en plantaciones forestales sostenibles. Además, puede contribuir a valorar el potencial del bambú como herramienta para la captura de carbono y la mitigación del cambio climático.

Objetivo general

Evaluar el carbono orgánico y propiedades físicas y químicas del suelo de una plantación de *Dendrocalamus asper* en un Bosque Reservado, Tingo María.

Objetivos específicos

Analizar el contenido de carbono orgánico del suelo de una plantación de *Dendrocalamus asper* en un Bosque Reservado, Tingo María.

Determinar las propiedades físicas y químicas del suelo de una plantación de *Dendrocalamus asper* en un Bosque Reservado, Tingo María.

Relacionar el carbono orgánico del suelo con las propiedades físicas y químicas del suelo de una plantación de *Dendrocalamus asper* en un Bosque Reservado, Tingo María.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. El suelo

El agua, el aire, la luz solar y el suelo permiten la vida en la Tierra. La mayoría de los suelos se originan de la roca madre, transformada progresivamente por procesos de meteorización y edafización, donde intervienen factores biológicos, químicos y físicos. Otros agentes formadores son el clima, los organismos, el relieve y el tiempo, que determinan la dirección y ritmo de estos cambios. La desintegración de la roca en partículas minerales y la acumulación de materia orgánica toman miles de años. Así, el suelo se forma continuamente, con espesores que van de pocos centímetros a más de 3 metros (Porta et al., 2003).

La degradación del suelo representa un riesgo cada vez mayor para la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental en todo el mundo. Este proceso, que implica la disminución de la capacidad del suelo para mantener la vida vegetal y animal, se intensifica debido a la agricultura intensiva, la expansión agrícola y el cambio climático (Guhl, 2022).

2.1.1.1. Composición del suelo

La composición del suelo incluye una mezcla de minerales, materia orgánica, agua y aire. Los minerales provienen de la descomposición de rocas y son esenciales para la fertilidad del suelo. La materia orgánica, que incluye restos de plantas y animales en descomposición, es crucial para la retención de nutrientes y agua, así como para la actividad biológica del suelo (Hillel, 2004). La proporción de estos componentes varía según el tipo de suelo y su ubicación geográfica, lo que influye en su capacidad para soportar diferentes tipos de vegetación (Lal, 2004).

Las propiedades del suelo son las que brindan una caracterización exacta sobre su forma física, contenido químico y biológico. Estas propiedades además están determinadas por el tipo de material geológico del que se originan, por la cubierta vegetal, por el tiempo que ha actuado el interperismo (desintegración por agente atmosféricos, por la topografía y por los cambios artificiales resultantes de las actividades humanas a través del tiempo (Hilda, 2010).

La calidad del suelo varía y su respuesta depende de las prácticas que se apliquen sobre él. Esta calidad involucra tanto propiedades físicas, químicas y biológicas, tanto inherentes como dinámicas (FAO, 2015).

2.1.1.2. Relación suelo-vegetación en sistemas forestales

La relación entre el suelo y la vegetación es recíproca y compleja. Un suelo fértil proporciona los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas, mientras que la vegetación, a su vez, protege el suelo de la erosión y mejora su estructura mediante la adición de materia orgánica (Bardgett & van der Putten, 2014). En sistemas forestales, esta interacción es especialmente importante, ya que los árboles y otras plantas ayudan a mantener la salud del suelo, regulando el ciclo del agua y los nutrientes. La degradación del suelo puede llevar a una disminución de la vegetación, lo que a su vez afecta la calidad del suelo, creando un ciclo de retroalimentación negativa que puede ser difícil de revertir (Pimentel et al., 1995).

2.1.2. Carbono orgánico del suelo

El suelo actúa como un importante reservorio de carbono, funcionando tanto como fuente como sumidero de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico, lo que le otorga un papel crucial en el cambio climático global (Llorente, 2004). Según Ordóñez y Masera (2001), el CO₂ es uno de los principales gases de efecto invernadero, y su liberación a la atmósfera debido a cambios en el uso del suelo es la segunda mayor causa a nivel mundial. El carbono almacenado en los suelos es casi tres veces superior al de la biomasa aérea y aproximadamente el doble que en la atmósfera (Eswaran et al., 1993).

El carbono orgánico del suelo (COS) desempeña un papel clave en el ciclo global del carbono, representando el 69,8% del carbono orgánico de la biosfera (FAO, 2001). El suelo puede funcionar como fuente o depósito de carbono, dependiendo de su uso y gestión (Lal et al., 1990; Lal, 1997). Se estima que la incorporación de nuevos suelos a la agricultura y la implementación de sistemas de cultivo intensivos resultan en la pérdida de COS, con reducciones que oscilan entre el 30 y el 50% del nivel original (Reicosky, 2002).

El carbono orgánico juega un papel fundamental en el suelo y se define como "aquellas sustancias orgánicas transformadas, de color característico pardo o negrozco, que provienen de la descomposición de material orgánico de origen vegetal" (Julca-Otiniiano et al., 2006).

2.1.2.1. Importancia del carbono orgánico para la calidad del suelo

El carbono es un elemento clave tanto en el CO₂ como en el CH₄, lo que hace esencial estudiar la cantidad que se libera cuando hay cambios en el uso del suelo. Se estima que el carbono almacenado en la biomasa terrestre oscila entre 420 y 660 Gt, mientras que en el suelo puede llegar a 2,000 a 2,500 Gt. Anualmente, las plantas absorben entre 90 y 120 Gt de carbono, mientras que la quema de combustibles fósiles emite entre 5 y 6 Gt. La pérdida de carbono debido a actividades agrícolas, por la rápida mineralización de la materia orgánica, varía entre 40 y 90 Gt (De la Rosa, 2008).

2.1.3. Propiedades físicas del suelo

2.1.3.1. Color del suelo

FertiLab (2018) destaca que el color del suelo, aunque no incide directamente en el desarrollo vegetal, sí afecta la humedad y temperatura al modificar la absorción de energía solar y la evaporación. El color está determinado por los minerales de hierro y magnesio, la roca madre, el clima y la vegetación. Además, investigaciones de FertiLab (2018) revelaron que los suelos oscuros con gran capacidad de retención hídrica se asocian con la presencia de materia orgánica en un avanzado estado de descomposición con partículas húmicas pequeñas, y que la oscuridad de los horizontes superiores se relaciona con un 10% de materia orgánica y la presencia de MnO₂.

2.1.3.2. Textura del suelo (arena, limo y arcilla)

La textura del suelo se refiere a la proporción de partículas minerales de diferentes tamaños, excluyendo la materia orgánica. Esta característica fundamental determina los porcentajes de limo, arena y arcilla presentes en el suelo, lo cual a su vez influye en aspectos cruciales para el desarrollo vegetal como la circulación del agua, la aireación, la fertilidad, la susceptibilidad a la erosión, la capacidad de intercambio catiónico y la capacidad de amortiguación del pH (Ríos et al., 2015).

2.1.3.3. Densidad aparente

La densidad aparente (Dap) del suelo se refiere a la masa de suelo seco contenida en un volumen determinado. Su relevancia radica en que permite evaluar la calidad del suelo en relación con el crecimiento de las raíces, indicando la cantidad de material sólido presente en el espacio poroso. Esta propiedad se suele expresar en gramos por centímetro cúbico (g/cm³) (Rojas & Peña, 2018).

2.1.4. Propiedades químicas del suelo

Los indicadores químicos del suelo se refieren a las condiciones y aspectos que influyen en las interacciones entre el suelo y las plantas, así como en la calidad del agua presente en el suelo. Entre estos indicadores se incluyen la capacidad amortiguadora, la disponibilidad y retención de agua, la presencia de nutrientes esenciales para plantas y microorganismos, la presencia de material orgánico y el pH, entre otros factores.

2.1.4.1. Potencial de hidrogeno pH

El suelo se compone de fases sólida, gaseosa y líquida. Es en esta última fase donde se mide el pH del suelo, ya que los productos químicos disueltos en ella determinan si el suelo presenta condiciones de acidez o alcalinidad, lo que permite su análisis tanto en laboratorio como en campo (Nuñez, 2000).

En los suelos, el grado de basicidad y acidez se cuantifica a través del valor del pH en la solución del suelo. Aunque el pH no influye directamente en las plantas, sí tiene un impacto principalmente biológico al afectar a los microorganismos del suelo (Nuñez Solis, 2000).

2.1.4.2. Materia orgánica

Los suelos suelen originarse a partir de materiales iniciales que carecen de materia orgánica. La incorporación de biomasa muerta proveniente de plantas, animales y microorganismos, junto con sus productos de transformación, es la principal fuente de materia orgánica en los suelos (Porta et al., 2003). Estos materiales orgánicos, presentes sobre o cerca de la superficie del suelo, actúan como una protección física frente al impacto de la lluvia y la radiación solar directa. Además, la descomposición de raíces muertas facilita la formación de canales que permiten una infiltración más rápida del agua hacia capas más profundas de la zona radicular, favoreciendo así el crecimiento de la vegetación (FAO, 2005).

2.1.4.3. Fosforo

Velasquez y Lavelle (2019) encontraron que existe una relación positiva entre los organismos del suelo y la cantidad total de fósforo disponible en él. Esto se debe principalmente a que ciertos grupos funcionales, como los detritívoros y depredadores, incluyendo lombrices (Lumbricidae) y termitas (Termopsidae), desempeñan un papel crucial en la regulación de los nutrientes. Estos organismos son fundamentales porque crean estructuras biogénicas, como los canales excavados por las lombrices y los montículos de termitas, en los

cuales los niveles de fósforo (P) pueden diferir significativamente de los del suelo circundante (Machado et al., 2020).

2.1.4.4. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica (CE) del suelo depende de la concentración de sales disueltas en su solución; a mayor CE, mayor es el contenido de sales ionizadas presentes (Fertilab, s.f.).

2.1.4.5. Nitrógeno

El nitrógeno es uno de los nutrientes más relevantes que las plantas absorben del suelo en términos de cantidad. Este elemento cumple funciones esenciales, ya que forma parte de la clorofila, los aminoácidos —bloques fundamentales de las proteínas—, y está presente en enzimas, vitaminas, hormonas y ácidos nucleicos. Además, resulta indispensable para el aprovechamiento de los carbohidratos y promueve el crecimiento y la actividad de las raíces. La falta de nitrógeno puede afectar cualquier tipo de suelo y suele reflejarse en las plantas a través del amarillamiento de las hojas más viejas o un tono verde-amarillento que puede terminar en la caída de las hojas (Brady & Weil, 2000).

2.1.4.6. Magnesio

El magnesio es un nutriente esencial para las plantas, aunque presente en cantidades inferiores a las del calcio (entre 0,15 % y 0,75 % de la materia seca). Este elemento es un componente clave de la clorofila, participando directamente en el proceso de fotosíntesis. Además, interviene en la producción de aceites, proteínas y en la actividad enzimática relacionada con el metabolismo energético, así como en la regulación de la absorción de otros nutrientes (USDA, 2014).

2.1.5. Relación del carbono orgánico y las propiedades del suelo

El suelo es el mayor reservorio de carbono (C) en la biosfera terrestre, aunque su variabilidad es considerable debido a su compleja composición y las interacciones químicas, así como a factores como las actividades humanas, el terreno y el clima (Rodríguez et al., 2016;; Hengl, 2007). Factores geográficos, como la pendiente y la curvatura del terreno, también influyen en esta variabilidad (Mueller & Pierce, 2003; Thompson et al., 2006). Como principal reservorio de C, el suelo desempeña un papel clave en los ecosistemas, almacenando la mayor parte del carbono fotosintético fijado en el planeta (Sparling et al., 2006). Además, la

conversión de ecosistemas naturales en agroecosistemas provoca pérdidas significativas de carbono orgánico, lo que resalta la necesidad de métodos para evaluar su estado y disponibilidad (Alejandro & Vargas, 2011).

Diversos estudios han señalado la relación entre el carbono orgánico del suelo y el pH, destacando su papel en la volatilización de compuestos fungicidas y radiactivos en los cultivos. Además, se ha observado que la labranza de los cultivos influye en el secuestro de carbono, siendo que en su ausencia se registran los niveles más altos de carbono orgánico en el suelo (Barbera et al., 2012).

2.1.6. Plantaciones de bambú

El bambú es reconocido como un recurso ecológicamente favorable debido a su capacidad para reducir la presión sobre los bosques, ya que se ve como un reemplazo directo de diversos productos derivados de la madera (León & Fausto, 1990). Además, se considera la planta con la mayor capacidad de capturar carbono (Kleiner, 2007).

El bambú tiene un crecimiento distinto al de los árboles. Mientras que los árboles se desarrollan alrededor de un tronco, con anillos anuales que indican su edad y crecimiento hasta alcanzar su tamaño máximo, el bambú crece en culmos (cañas o varas) que emergen del suelo con anillos, extendiéndose de forma rápida y telescópica. Durante su desarrollo, las cañas se alargan hasta alcanzar el tamaño característico de la variedad, soportando alturas que son hasta 200 veces su diámetro. Al brotar, ya tienen su diámetro definitivo, y su elongación máxima se da en un plazo de tres meses. Los entrenudos se alargan progresivamente, y cuando las cañas dejan de crecer, inician su proceso de maduración mientras los rizomas continúan desarrollándose. El bambú crece en grupos, macoyas o matas, lo que permite una producción constante de cañas, por lo que no necesita ser reforestado (Gonzales, 2007).

El suelo adecuado para el bambú debe permitir un buen drenaje, pero a la vez ser capaz de retener las partículas de materia orgánica que servirán como abono. Durante su fase de crecimiento, el bambú necesita una alta cantidad de materia orgánica o abono rico en nitrógeno, mientras que en la fase de desarrollo, sus necesidades de fósforo y potasio aumentan (Gonzales, 2007).

El término "bambú" no hace referencia a una especie en particular, sino que abarca un vasto conjunto de géneros y especies que se caracterizan por su crecimiento más

rápido en comparación con otras plantas (Añazco y Rojas, 2015). El bambú pertenece a la subfamilia Bambusoideae, dentro de la familia Poaceae (gramíneas), e incluye aproximadamente 1600 especies distribuidas en 121 géneros, de los cuales 25 son herbáceos y 96 son leñosos (Hidalgo, 2003). En 1753, Carl von Linné, considerado el padre de la taxonomía y la ecología moderna, incluyó al bambú en su obra *Species Plantarum*, clasificándolo como una gramínea gigante (Soler, 2017).

2.2. Estado del arte

2.2.1. Nivel internacional

Lituma (2024) caracterizó los parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo en rodales naturales de *Guadua angustifolia* y *Phyllostachys aurea* en la finca “Arrayán y Piedra” (ESPOCH). Reportó una textura franco–arcilloso–arenosa en ambos suelos. La densidad aparente fue menor en *G. angustifolia* (0.484 g/cm³) que en *P. aurea* (0.527 g/cm³), sugiriendo mayor porosidad bajo *G. angustifolia*. La temperatura del suelo fue 25.655 °C en *G. angustifolia* y 25.167 °C en *P. aurea*. El pH fue 4.981 en *G. angustifolia* y 6.100 en *P. aurea*. La conductividad eléctrica alcanzó 158.239 μS/m en *G. angustifolia* y 57.953 μS/m en *P. aurea*. La materia orgánica fue similar entre especies, con 33.128 % en *G. angustifolia* y 33.125 % en *P. aurea*, destacándose *G. angustifolia* por su menor densidad aparente y condiciones más favorables para porosidad y macrofauna.

Vargas et al. (2023), se estimaron los almacenes de carbono orgánico en el suelo (COS) en tres tipos de bosque templado en Durango, México. Se encontró que las mayores proporciones de carbono se almacenaron en la hojarasca, seguidas por el horizonte de fermentación. El COS mostró alta variabilidad, con un rango de 12.3 a 467.5 Mg ha⁻¹ en los primeros 30 cm y de 1.9 a 254.1 Mg ha⁻¹ en los 30 a 60 cm. Alrededor del 70% del COS se acumuló en los primeros 30 cm de profundidad. Los resultados indicaron que los almacenes de carbono en los bosques de Durango oscilan entre 160.59 y 182.23 Mg ha⁻¹, con una gran variabilidad en el contenido de COS.

Quiñones (2022) evaluó el contenido de carbono orgánico (CO) en diversos ecosistemas forestales y agroforestales en la Sierra Madre de Chiapas y Texcoco, México. Se encontraron los mayores almacenamientos en vegetación secundaria de selva mediana perennifolia (103.22 Mg ha⁻¹) y en sistemas de café rústico (113.23 Mg ha⁻¹). Los cultivos de maíz y monocultivos bajo sombra mostraron menores valores de CO. Un modelo

explicó el 23.59% de la variabilidad del CO, destacando la capa de hojarasca y la altitud como factores clave. Los ecosistemas forestales almacenaron más CO que los sistemas agrícolas.

Pineda et al. (2018), en un estudio sobre el carbono orgánico del suelo en diferentes usos de la tierra, aplicaron el método de la probeta para determinar la densidad aparente (DA) y el contenido de carbono orgánico (CO) en un perfil de suelo de 0–100 cm. Los resultados mostraron que el bosque mesófilo (BM) presentó los mayores porcentajes de CO con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) respecto a otros usos del suelo. Por otro lado, el huerto cítrico (HC) registró la mayor DA. En términos del contenido total de CO (Mg/ha), el BM también superó significativamente a los demás usos. Se concluye que los suelos con cobertura de bosque mesófilo tienen mayor capacidad de almacenamiento de carbono, lo cual respalda su inclusión en esquemas locales de pago por servicios ambientales.

En la terraza alta del departamento del Meta, Calderón et al. (2018) evaluaron las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo como indicadores del estado de diferentes ecosistemas (bosque, sistema agroforestal y pradera), mediante muestreos a 0–10 cm y 10–20 cm. Los resultados indicaron pH ácido en todos los sistemas (≈ 5.30 en SAF y 5.02 en bosque), con aluminio intercambiable elevado (1.49 – 2.01 cmol(+)/kg). La capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) fue baja a moderada (≈ 5.13 cmol(+)/kg), mientras que la materia orgánica y el carbono fueron mayores en el bosque. La densidad aparente osciló alrededor de 1.34 g/cm³, reflejando diferencias físicas entre ecosistemas. Los indicadores biológicos mostraron variabilidad, aunque no explicaron de forma significativa las diferencias entre sistemas, destacándose las propiedades químicas y físicas como los principales determinantes de la calidad del suelo.

López (2017), desarrolló una investigación en el Bosque Protector Aguarongo, ubicado en la provincia del Azuay, Ecuador, se evaluó el contenido de carbono en la necromasa y el suelo utilizando dos métodos: peso húmedo y seco para la necromasa y calcinación para el suelo. Los resultados mostraron que la mayor captura de carbono en la necromasa provino de la especie introducida *Eucalyptus globulus*, con 0.165 toneladas de carbono por hectárea durante la temporada seca (diciembre), equivalente a 0.605 toneladas de CO₂ almacenado. En cuanto al carbono en el suelo, se observó que la mayor reserva se encontraba a 30 cm de profundidad, con un valor de 121.52 tC/ha. En general, el bosque Aguarongo almacenó 262.42 tC/ha en el suelo y 1.11 tC/ha en la necromasa, destacándose como un importante mitigador del cambio climático.

Aguilar (2011) estudió la biomasa y el carbono orgánico en el suelo (COS) en cuatro estadios sucesionales de bosques en la Península de Osa, Costa Rica. Se establecieron 20 parcelas permanentes de 5000 m² distribuidas aleatoriamente, evaluando mantillo, madera muerta y COS. La mayor biomasa de mantillo (9,75 t/ha) y madera muerta (7,80 t/ha) se halló en bosques primarios. El mayor COS fue en bosques >30 años (109,24 tC/ha), seguido de primarios (92,29 tC/ha). Se observaron diferencias estadísticas entre estadios, evidenciando que la sucesión forestal favorece el almacenamiento de carbono en suelo y superficie.

Andrade et al. (2016) evaluaron el carbono orgánico del suelo (COS) en bosques riparios, arrozales y pasturas en Piedras, Tolima – Colombia, muestreando a 0–20 cm de profundidad. Trabajaron con dos lotes productivos (arroz y pastura) y zonas de bosque (borde e interior), determinando densidad aparente, concentración de carbono y el cambio potencial del COS por variación en el uso del suelo. Las interfases arroz–bosque y pastura–bosque almacenaron 65,6 t C ha⁻¹ y 61,3 t C ha⁻¹, sin diferencias significativas. No se hallaron diferencias estadísticas entre arroz y pastura para las variables evaluadas. La densidad aparente sí mostró variación: 1,7 g/cm³ en la matriz agrícola frente a 1,0 g/cm³ en el borde e interior del bosque. El COS no presentó diferencias ($p > 0,05$) entre posiciones de muestreo. Los autores concluyen que convertir bosques riparios a arrozales o pasturas con manejo orgánico no incrementa emisiones; por el contrario, aumenta el COS en 3,2 t C ha⁻¹.

Giraldo (2021) evaluó el potencial de mitigación del cambio climático de *Guadua angustifolia* en plantaciones con 19 años de establecimiento en el Eje Cafetero de Colombia, específicamente en las fincas Nápoles y Bambusal, ubicadas en Montenegro, Quindío. Mediante muestreos destructivos se estimó la biomasa aérea, subterránea, raíces finas, hojarasca y carbono del suelo. Las plantaciones registraron $328,4 \pm 99,7$ t CO₂/ha en biomasa, con una tasa anual de 17,3 t CO₂/ha·año. Considerando el ecosistema completo, el almacenamiento promedio alcanzó 537 ± 118 t CO₂/ha. A nivel de carbono, la Finca Nápoles presentó $45,5 \pm 1,5$ t/ha, mientras que la Finca Bambusal alcanzó $54,9 \pm 5,3$ t/ha. La extrapolación a áreas con alta aptitud para guadua (98 007 ha comerciales y 265 258 ha de conservación) mostró un potencial de 119 298 kt CO₂ en 19 años, equivalente a mitigar el 88 % de las emisiones anuales de Risaralda, el 100 % del Quindío y el 34 % del Valle del Cauca. Estos valores resaltan la guadua como una alternativa eficaz y de alto impacto para la mitigación climática regional.

Galicia et al. (2016) señalan que el carbono almacenado en los bosques del mundo alcanza un total estimado de 861 Gt, distribuido de manera desigual entre sus distintos compartimentos. De este total, 383 Gt se encuentran en el suelo (44%), 363 Gt corresponden a la biomasa aérea (42%), 73 Gt a la madera muerta (8%) y 43 Gt al mantillo (5%). Estos valores evidencian que cerca de la mitad del carbono de los ecosistemas forestales se concentra en el suelo y en el piso forestal, aunque esta proporción varía según el bioma. Los autores también destacan que los bosques tropicales almacenan aproximadamente 32% del carbono en el suelo, mientras que los bosques templados y boreales presentan porcentajes más elevados, alcanzando alrededor del 60% del carbono total en dicho compartimento. Esta comparación permite comprender cómo las condiciones climáticas, la productividad y la dinámica ecosistémica influyen en la distribución del carbono a escala global.

Morales et al. (2020) estimaron el carbono orgánico tanto en la biomasa aérea como en el suelo de bosques en México, empleando ocho puntos de muestreo distribuidos en un área total de 400 m². Los resultados evidenciaron una marcada concentración del carbono orgánico del suelo (COS) en los estratos superficiales, ya que el 70% del total se localizó en los primeros 20 cm de profundidad. En este nivel se registró un valor de 187.06 Mg ha⁻¹, lo que confirma la elevada capacidad de almacenamiento de carbono del horizonte superficial, asociada a la acumulación de materia orgánica y a las condiciones físicas del suelo que favorecen su retención.

2.2.2. Nivel nacional

Fernández (2024) evaluó las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo en tres sistemas de uso (agroforestal, excocal y bosque primario) en el caserío Cajatambo, Uchiza (Tocache, San Martín). Los suelos presentaron textura franco arcillosa en los tres sistemas. El bosque primario registró los mejores valores físicos, con densidad aparente de 1.45 g/cm³ y resistencia a la penetración de 1.64 kg/cm². En cuanto a propiedades químicas, el bosque primario presentó los mayores valores de pH (5.97), nitrógeno (0.07 %), materia orgánica (1.25 %) y CIC (7.17 cmol(+)/kg). Por su parte, el sistema agroforestal mostró los mayores contenidos de fósforo disponible (24.68 ppm) y potasio disponible (76.32 kg K₂O/ha), evidenciando diferencias edáficas asociadas al tipo de uso del suelo.

Rodríguez (2024) evaluó las propiedades físico-químicas del suelo bajo plantaciones de *Polylepis incana* y *Buddleja coriácea* en áreas degradadas por minería no

metálica en Chongos Alto, Huancayo, muestreando a 0–30 cm y 30–60 cm. Los suelos presentaron ligeros incrementos no significativos de arcilla y limo, con cambios texturales de franco arcillo arenoso a franco arcilloso. La densidad aparente fue mayor en suelos con *P. incana* y aumentó con la profundidad, mientras que la porosidad fue homogénea, con mayores valores en 0–30 cm. La materia orgánica, N, P y K mostraron incrementos leves en 0–30 cm. El pH fue ligeramente ácido, con baja saturación de acidez. La CIC, Ca y Mg cambiables fueron bajos, aunque el K cambiable fue mayor en suelos con *P. incana*, sin diferencias significativas entre profundidades.

Trillo et al. (2023) evaluaron la influencia del establecimiento de *Guadua angustifolia* Kunth sobre las propiedades físicas y químicas del suelo en una parcela degradada por minería aurífera en la comunidad nativa de Puerto Luz (Madre de Dios, Perú). Los resultados muestran una mejora progresiva del pH del suelo (de 4,76 a 5,40 en 4 años y 6 meses), incremento de la materia orgánica (de 0,02% a 0,18%), y variaciones significativas en nutrientes disponibles como fósforo y potasio, evidenciando extracción por la plantación. Asimismo, la capacidad de intercambio catiónico se mantuvo estable, mientras que la saturación de bases disminuyó, reflejando la dinámica de absorción de cationes por el bambú. Estos hallazgos confirman el potencial del bambú para modificar gradualmente las condiciones fisicoquímicas del suelo en procesos de restauración ecológica de áreas degradadas.

Burga (2019) determinó el contenido de carbono orgánico del suelo en un bosque primario y uno secundario del caserío La Palma, Chadín – Cajamarca, mediante el método de Walkley y Black. Se tomaron muestras a tres profundidades (0–10, 10–20 y 20–30 cm) para calcular carbono orgánico, densidad aparente y color del suelo. En el bosque primario se obtuvo un total de 133,57 t/ha en los primeros 30 cm; mientras que en el bosque secundario se halló 105,86 t/ha. El mayor contenido de carbono se encontró en el bosque primario, concluyendo que este almacena más carbono en el suelo superficial.

Fernández (2024) evaluó tres sistemas de uso del suelo en el caserío Cajatambo (Uchiza – Tocache), agroforestal, ex-cocal y bosque primario, donde analizó las propiedades físicas. Los análisis texturales mostraron texturas finas, donde el sistema agroforestal (24 % arena, 35 % limo, 31 % arcilla) y el bosque primario (31 % arena, 36 % limo, 34 % arcilla) se clasificaron como franco arcillosos, mientras que el ex-cocal (27 % arena, 50 % limo, 23 % arcilla) presentó textura arcillosa. La densidad aparente también reflejó diferencias, el ex-cocal alcanzó 1,57 g/cm³, el agroforestal 1,50 g/cm³ y el bosque primario 1,45 g/cm³, evidenciando mayor compactación en el sistema más intervenido. En resistencia a la

penetración, el ex-cocal obtuvo 1,77 kg/cm², seguido del agroforestal con 1,72 kg/cm², siendo nuevamente el bosque primario el menos resistente con 1,64 kg/cm². Los resultados indican que el bosque primario presenta mejores condiciones físicas y químicas, con pH moderadamente ácido y bajos niveles de nutrientes esenciales, destacando su menor alteración antrópica.

Santos (2023) analizó el carbono orgánico acumulado en tres sistemas de uso del suelo en el distrito de Uchiza (San Martín) de macorilla (*Pteridium aquilinum*), pastura (*Brachiaria brizantha*) y el sistema agroforestal con cacao (*Theobroma cacao*). En el sistema con macorilla, el carbono almacenado varió entre 13,95 y 14,80 t/ha, con una media de 14,36 t/ha, mediana de 14,34 t/ha y una desviación estándar de 0,43 %, indicando baja variabilidad. Este comportamiento se repitió en pastura y en el SAF. La comparación de medias mostró diferencias altamente significativas entre sistemas, el sistema agroforestal presentó la mayor acumulación con 26,09 t/ha, seguido de la pastura con 20,11 t/ha, mientras que la macorilla registró el valor más bajo (14,36 t/ha). La mayor capacidad de almacenamiento en el SAF se asocia a la mayor incorporación y descomposición de materia orgánica, fuente principal de carbono y nutrientes del suelo.

Zanabria et al. (2015) cuantificó el carbono almacenado en seis sistemas de uso de tierra del valle del Mantaro (Junín), mediante 30 parcelas de 2000 m², evaluando cinco áreas, entre ellos el carbono orgánico del suelo (COS). Los sistemas presentaron biomasa total desde 265,08 t/ha en *Pinus radiata* hasta 19,25 t/ha en pastizales; sin embargo, el suelo fue el depósito que más carbono acumuló. El COS se obtuvo mediante calicatas de hasta 500 mm y análisis por combustión húmeda. En *Pinus radiata* el suelo registró 6,47 % de materia orgánica, indicando alta concentración de carbono, aunque con efectos negativos en la fertilidad por acidificación y acumulación de mulching (>20 cm). Los resultados muestran que los pastizales almacenaron más carbono en el suelo gracias a su abundante biomasa radicular, mientras que los bosques nativos y plantaciones presentaron valores similares y no significativamente diferentes. El cultivo de *Vicia faba* tuvo el menor COS. La fijación de carbono en el suelo dependió de factores como tipo de suelo, textura, pH, manejo, precipitación, temperatura y profundidad, confirmándose que el suelo constituye el principal reservorio de carbono en los sistemas evaluados.

Díaz et al. (2016) analizaron el carbono orgánico del suelo en cinco sistemas de uso de tierra de la región San Martín, encontrando diferencias significativas en la densidad aparente, con valores más altos en cacao (1,59 g/cm³), café (1,33 g/cm³) y pijuayo

(1,32 g/cm³), y menores en bosque secundario (1,22 g/cm³) y bosque primario (0,88 g/cm³). El porcentaje de COS a 30 cm mostró niveles altos en bosque primario (4,41 %) y secundario (3,65 %), mientras que café (1,44 %), pijuayo (1,26 %) y cacao (1,22 %) presentaron valores medios. El stock de carbono del suelo también fue significativo ($p < 0,0042$), registrándose el mayor almacenamiento en bosque secundario con 113,94 tC/ha, seguido del bosque primario con 93,12 tC/ha, ambos superiores frente a los cultivos, cuyo promedio general fue menor (109,24 tC/ha e intermedios de 92,29 tC/ha). Los resultados muestran que el suelo es un depósito importante de carbono, pero los monocultivos reducen su contenido por mayor descomposición y lixiviación. Además, los bosques secundarios pueden almacenar más carbono en el suelo que los primarios debido a su mayor densidad aparente y porosidad, que favorecen su retención.

Zárate (2022) evaluó el contenido de carbono orgánico del suelo en el bosque nativo Llangodén (Chota, Cajamarca) mediante muestreos en estratos forestal y herbáceo a profundidades de 0–10, 10–20 y 20–30 cm. La textura mostró predominio franco arenoso, con promedios de 62 % de arena, 26 % de limo y 13 % de arcilla, registrándose 70,05 % de arena en los primeros 10 cm del estrato forestal. La prueba ANOVA indicó ausencia de diferencias significativas en densidad aparente, aunque esta aumentó con la profundidad, variando entre 0,47–0,63 g/cm³ en el estrato forestal y 0,54–0,56 g/cm³ en el herbáceo. Para el carbono orgánico, la prueba de Kruskal-Wallis evidenció diferencias significativas en % COS ($p = 0,031$), con valores de 3,91 %, 3,20 % y 2,66 % en el estrato forestal y 3,20 %, 3,82 % y 2,84 % en el herbáceo, desde superficie hacia 30 cm. No obstante, el COS en tC/ha no presentó diferencias estadísticas ($p = 0,436$), registrándose 0,186, 0,190 y 0,167 tC/ha en el estrato forestal y 0,219, 0,201 y 0,161 tC/ha en el herbáceo. En ambos tipos de cobertura se observó una ligera disminución del carbono con la profundidad, indicando que la mayor concentración se localiza entre los 0 y 20 cm, sin que esta variación sea estadísticamente significativa.

Camargo (2018) desarrolló un estudio en Cullpa-Huancayo, con el objetivo de analizar la distribución del carbono orgánico del suelo (COS) a tres profundidades: 0–20, 20–40 y 40–60 cm, en plantaciones de *Alnus acuminata*, áreas agrícolas y pastizales. El área se delimitó mediante un transecto georreferenciado, se determinó la densidad aparente con el método del cilindro y el COS se cuantificó mediante Walkley-Black en la Universidad Nacional Agraria La Molina. Los resultados mostraron una disminución progresiva del COS con la profundidad: valores altos en *A. acuminata* en 0–20 cm, medios en el suelo agrícola y bajos en el pastizal en todas las capas. Respecto al carbono acumulado hasta los 60 cm, el suelo agrícola registró 143,57 Mg/ha (526,94 Mg CO₂/ha), las plantaciones de *A. acuminata*

alcanzaron 71,99 Mg/ha (264,24 Mg CO₂/ha) y el pastizal 45,29 Mg/ha (166,25 Mg CO₂/ha). La razón de estratificación también mostró diferencias marcadas, siendo mayor en *A. acuminata* (16,29 %) y mucho menor en pastizal (1,82 %) y en el suelo agrícola (1,66 %).

Cevallos (2024) analizó la variación altitudinal del carbono orgánico del suelo (COS) en tres bosques nativos de la cuenca del río Chancay, priorizando las propiedades físicas del suelo y su relación con el contenido de carbono. En el Bosque Estacionalmente Seco de Llanura se registró una densidad aparente de 1,37 g/cm³ y textura franco arcillo arenosa, mientras que en el Bosque Seco Premontano Tropical la densidad fue de 0,82 g/cm³ con textura franco arenosa. En el Bosque Húmedo Montano Bajo Tropical se obtuvo una densidad aparente de 1,05 g/cm³ y textura franco arcillosa. Estas variaciones texturales y de compactación influyeron directamente en el COS: el Bosque Estacionalmente Seco de Llanura presentó valores entre 11,88 y 28,63 t C ha⁻¹ (promedio 18,04 t C ha⁻¹), el Bosque Seco Premontano Tropical entre 23,17 y 40,46 t C ha⁻¹ (promedio 30,81 t C ha⁻¹) y el Bosque Húmedo Montano Bajo Tropical entre 18,23 y 65,88 t C ha⁻¹ (promedio 38,75 t C ha⁻¹), siendo este último el de mayor acumulación debido a condiciones climáticas más húmedas y suelos menos limitantes. En conjunto, los resultados confirman que la altitud, al modificar textura, densidad y humedad del suelo, ejerce un efecto determinante en el almacenamiento de COS.

Chávez (2018) analizó la acumulación de carbono en un bosque estacionalmente seco del departamento de Lambayeque, instalando 9 parcelas dentro de un área de 159,3 ha. Los resultados mostraron que el carbono acumulado en la hojarasca alcanzó 0,52 Mg C ha⁻¹ durante cinco meses de evaluación en temporada de lluvias y condiciones climáticas normales. En el suelo, la acumulación fue significativamente mayor, registrándose 42,19 Mg C ha⁻¹, lo que resalta el papel del horizonte edáfico como principal reservorio de carbono en este tipo de ecosistema.

Jara (2023) evaluó la influencia del cambio climático en las reservas de carbono orgánico del suelo (COS), proyectando su comportamiento frente a escenarios futuros en un ecosistema de montaña en Ancash, ubicado entre los 3800 y 4500 m s. n. m. Para ello, recolectó muestras de suelo en cuatro profundidades y analizó las condiciones climáticas asociadas. Los resultados mostraron que el COS varía entre 2 y 54 t ha⁻¹, registrándose los valores más altos en las zonas de mayor altitud, lo que evidencia la relación entre gradiente altitudinal, temperatura y acumulación de carbono en suelos de montaña.

2.2.3. Nivel regional

Tocto (2025) evaluó la relación entre la macrofauna y las propiedades físicas y químicas del suelo en plantaciones de *Guadua angustifolia* de tres edades en Tulumayo, Pueblo Nuevo (Huánuco). El estudio reportó pH ligeramente ácido en todas las parcelas (5.64–5.94) y conductividad eléctrica baja (0.04–0.09 dS/m). La materia orgánica fue moderada en la primera evaluación (1.05–1.38 %) y aumentó significativamente en la segunda (2.61–2.99 %). De forma concordante, el nitrógeno se incrementó de 0.05–0.07 % a 0.13–0.15 %, y el carbono también mostró un aumento asociado a la mayor MO. El fósforo presentó variabilidad, destacando la parcela 3 con un incremento de ≈ 5.76 a 15.58 mg/kg. El K_2O fue alto en todas las parcelas, con cambios de 60.47 a 42.35 mg/kg (parcela 1) y un aumento de 110.72 a 119.59 mg/kg (parcela 3). Asimismo, la CIC y el calcio aumentaron en la segunda evaluación, mientras que Mg y K se mantuvieron relativamente bajos y el Na fue bajo en todas las parcelas, evidenciando mejoras químicas del suelo bajo plantaciones de bambú.

Garay (2024) evaluó los indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo en 25 parcelas (20 × 20 m) con especies forestales del BRUNAS, en Tingo María. Los suelos presentaron textura franca, con promedios de arena 52 %, arcilla 20 % y limo 29 %. La densidad aparente mostró un promedio de 1.33 g/cm³ (0.79–1.99 g/cm³). El pH fue fuertemente ácido, con un promedio de 4.37 (4.10–4.84). La materia orgánica alcanzó un promedio de 3.14 % (1.12–4.84 %), mientras que el nitrógeno presentó 0.16 % (0.06–0.21 %). El fósforo mostró alta variabilidad, con un promedio de 2.35 (0.38–6.65), y el potasio promedió 69.86 ppm (49.68–115.00 ppm). La CIC efectiva fue baja, con 7 cmol/kg, y los valores promedio de calcio y magnesio fueron 1.32 y 0.21 cmol(+)/kg, respectivamente, indicando suelos de baja fertilidad y limitada capacidad de retención de nutrientes.

Acuña (2023) evaluó las características físicas y químicas de los suelos asociados al desarrollo de *Guadua angustifolia* Kunth en el Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS), muestreando suelos a 0–20 cm de profundidad y a 2, 5 y 10 m de distancia de la mata. Los suelos presentaron clases texturales franco arenoso, franco arcillo arenoso y arenoso, con predominio de texturas moderadamente finas a gruesas. El pH promedio fue 4.20, clasificado como extremadamente ácido, y la materia orgánica alcanzó 1.6 %, considerada de nivel bajo. Los contenidos de nitrógeno (0.08–0.09 %), fósforo (4.39–4.59 ppm) y potasio (81.50–151.93 kg K_2O /ha) indicaron fertilidad baja, sin diferencias significativas entre las distancias evaluadas. La CIC varió entre 8.42 y 10.27

cmol(+)/kg, reflejando una limitada capacidad de retención de nutrientes, asociada a la acidez del suelo y a la baja materia orgánica.

Koicheoski (2022) evaluó la calidad del suelo en cuatro sistemas de uso (cacao, plátano, café y purma) en el caserío Los Cedros, distrito José Crespo y Castillo (Leoncio Prado, Huánuco), analizando indicadores físicos y químicos. Los suelos presentaron texturas franco (cacao, plátano y purma) y franco limoso (café), con porcentajes de arena/arcilla/limo de 30/25/45 (cacao), 36/25/39 (plátano), 36/23/41 (purma) y 37/26/40 (café). La densidad aparente varió de 0.93 a 1.06 g/cm³, siendo mayor en plátano (1.06 g/cm³) y cacao (1.04 g/cm³), e inferior en purma (0.93 g/cm³) y café (0.96 g/cm³); la resistencia a la penetración osciló entre 1.3 y 2.0 kg/cm². En indicadores químicos, el pH fue ácido (4.00–4.93) y la materia orgánica varió entre 1.32 y 1.60 %. El N total osciló entre 0.05 y 0.08 %, el P disponible entre 1.51 y 6.16 ppm y el K disponible entre 43.30 y 70.97 ppm; la CIC fluctuó entre 6.27 y 8.58 mg/100 g, evidenciando diferencias edáficas asociadas al tipo de uso del suelo.

Condor (2019) evaluó el carbono orgánico del suelo en unidades fisiográficas del BRUNAS, en Tingo María, mediante un diseño no experimental descriptivo. Se delimitaron parcelas de 100 x 100 m y subparcelas de 20 x 20 m, tomando 45 submuestras a tres profundidades (0–10, 10–20 y 20–30 cm). Se halló que las unidades fisiográficas no influyen significativamente en el almacenamiento de carbono, aunque la unidad montaña presentó el mayor valor (101,26 t/ha), seguida de colina alta clase 2 (95,64 t/ha), colina alta clase 1 (91,04 t/ha), colina baja clase 2 (90,88 t/ha) y colina baja clase 1 (85,75 t/ha). Tampoco se encontró efecto de la profundidad sobre el afianzamiento del carbono.

Daza (2018) evaluó indicadores de calidad del suelo y carbono orgánico en pastura natural y mejorada en Rupa Rupa – Tingo María, empleando la metodología GAMMA. Se recolectaron submuestras en parcelas de 1000 m², y se aplicó la prueba LSD de Fisher. Los suelos con pastura mejorada mostraron mayor densidad aparente, pero menor contenido de materia orgánica y nitrógeno. El almacenamiento de carbono fue mayor en la pastura natural: 48,00 t C/ha en suelo y 50,84 t C/ha en suelo profundo, frente a 43,46 y 47,75 t C/ha en la pastura mejorada, respectivamente, concluyendo que el sistema natural retiene más carbono.

Gaitán et al. (2015) estimaron el almacenamiento de carbono orgánico del suelo (COS) en interfaces entre bosques riparios, arrozales y pasturas con manejo orgánico en Piedras, Tolima (Colombia). La investigación incluyó muestreo a 0–20 cm de profundidad

en dos lotes productivos y zonas de borde e interior de bosque. Se determinó la densidad aparente y concentración de COS entre mayo y julio. Los valores promedio de almacenamiento fueron 65,6 t C/ha para arroz-bosque y 61,3 t C/ha para pastura-bosque, sin diferencias estadísticas. Solo la densidad aparente varió significativamente según la posición de muestreo. Se concluyó que la conversión de bosques a sistemas agrícolas orgánicos no reduce el COS, sino que lo incrementa en 3,2 t C/ha, mostrando un potencial para el secuestro de carbono.

Alegría (2025) evaluó el almacenamiento de carbono en el suelo en tres sistemas de uso de tierra (SUT) con cultivos de *Theobroma cacao* (cacao), *Zea mays* (maíz) y *Musa paradisiaca* (plátano) en el distrito Padre Felipe Luyando, región Huánuco. El análisis descriptivo mostró que el coeficiente de variación fue notablemente mayor en el SUT con plátano, alcanzando 54,93%, mientras que los cultivos de maíz y cacao registraron valores mucho menores, de 16,17% y 13,37%, lo que evidencia una menor homogeneidad en las mediciones del sistema con plátano. El análisis de varianza determinó que no existen diferencias estadísticas significativas en el almacenamiento de carbono entre los tres cultivos, con un p-valor de 0,075, mayor al nivel de significancia de 0,05. En cuanto a los valores promedio de carbono almacenado, el cultivo de cacao obtuvo el nivel más alto con 32,64 t/ha, superando al maíz (21,58 t/ha) y al plátano (20,38 t/ha). Este resultado se asocia al mayor contenido de materia orgánica registrado en los suelos bajo cultivo de cacao, en comparación con los otros SUT evaluados.

Paredes (2025) analizó la distribución espacial de los parámetros físicos del suelo en unidades fisiográficas del fundo Liviac, en el caserío Río Negro, distrito de Luyando, evaluando textura, densidad aparente y resistencia a la penetración. En cuanto a la textura del suelo, los tres sistemas de uso de cacao-plátano, cacao y capirona, presentaron textura franca, con proporciones de arena, limo y arcilla equilibradas. En cacao-plátano se registraron 33 % de arena, 32 % de limo y 35 % de arcilla; en el sistema con cacao, 32 % de arena, 35 % de limo y 35 % de arcilla; mientras que en capirona los valores fueron 39 % de arena, 27 % de limo y 34 % de arcilla. Respecto a la densidad aparente, los tres sistemas mostraron valores dentro de rangos aceptables, entre 1,45 y 1,48 g/cm³, siendo el sistema cacao-plátano el de mayor variabilidad (1,48 g/cm³), seguido de cacao y capirona, ambos con 1,46 g/cm³. En la resistencia a la penetración, el sistema con cacao registró los valores más altos, entre 1,70 y 1,72 kg/cm²; el sistema cacao-plátano presentó 1,72 kg/cm² y capirona el valor más bajo con 1,63 kg/cm². Todos los sistemas se ubicaron dentro del rango de suelos suaves, con coeficientes de variación bajos y una ligera mayor dispersión en el cultivo de cacao.

Del Castillo (2024) evaluó el carbono orgánico del suelo en el Caserío Lota (Mariano Dámaso Beraún) comparando dos sistemas: guaba y guaba + tornillo. El ANOVA mostró $p = 0,8550$, indicando ausencia de diferencias significativas entre ambos sistemas. El sistema con guaba + tornillo registró $20,26 \text{ t C ha}^{-1}$, mientras que el sistema con solo guaba alcanzó $19,99 \text{ t C ha}^{-1}$, evidenciando una diferencia de apenas $0,27 \text{ t C ha}^{-1}$. Los valores estadísticos (mediana y límites) fueron ligeramente superiores en el sistema combinado. La desviación y el error estándar fueron mayores en guaba + tornillo, mostrando mayor variabilidad en las mediciones. Estos resultados indican que la incorporación de tornillo no modifica de manera significativa el carbono del suelo, aunque sí genera una variación interna mayor atribuida a propiedades físicas del suelo.

Acuña (2023) identificó que los suelos donde crece *Guadua angustifolia* en el Bosque Reservado de la Universidad Agraria de la Selva (BRUNAS) - Tingo María, presentan texturas Arena franca, Franco arcillo arenoso y Franco arenoso, combinando características gruesas y finas. Los análisis físico-químicos revelaron pH 4,20 (extremadamente ácido) y 1,6 % de materia orgánica (nivel bajo). El carbono orgánico del suelo varió según la distancia a la mata: $26,55 \text{ t C ha}^{-1}$ a 2 m, $26,16 \text{ t C ha}^{-1}$ a 5 m y $18,74 \text{ t C ha}^{-1}$ a 10 m, con un promedio general de $23,8 \text{ t C ha}^{-1}$. La disminución hacia los 10 m evidencia un menor aporte de hojarasca y raíces finas. En síntesis, la especie se desarrolla sobre suelos de baja fertilidad, condicionada por su acidez extrema y bajo contenido de materia orgánica.

Trillo et al. (2023) evaluaron la adaptabilidad del bambú y su influencia en las propiedades físicas y químicas del suelo en áreas degradadas por minería aurífera en la CCNN Puerto Luz, Madre de Dios, donde en 2018 se instalaron parcelas con *Guadua angustifolia*, *Bambusa vulgaris* y *Phyllostachys aurea*. El análisis inicial del suelo mostró textura franco arenosa, pero tras 4 años y 6 meses todas las parcelas registraron textura arenosa, evidenciando pérdida de limo por erosión, arrastre superficial y efectos residuales de la actividad minera. En el caso de *Guadua angustifolia*, la textura pasó de franco arenosa a arenosa; en *Bambusa vulgaris* ocurrió la misma transición; y en *Phyllostachys aurea* la textura cambió de franco arenosa arcillosa a arenosa. El bambú se desarrolla mejor en suelos arenolimosos, francos o franco-arenosos, por lo que la conversión a textura arenosa evidencia una disminución en la calidad física del suelo. Estos resultados muestran que, pese al empobrecimiento textural, las especies de bambú lograron establecerse en suelos fuertemente degradados.

Ortiz (2024) analizó el carbono almacenado en el suelo dentro de un sistema forestal asociado de *Schizolobium amazonicum* y *Ladenbergia oblongifolia* en dos zonas topográficas, en SaiPai, Distrito Pueblo Nuevo. En la zona alta, los valores promedios fueron 59,49 t/ha (transecto 1) y 52,73 t/ha (transecto 2), alcanzando un promedio general de 56,11 t/ha. En contraste, la zona baja registró 34,96 t/ha y 31,31 t/ha, con un promedio de 33,13 t/ha, evidenciando un mayor almacenamiento en la parte alta. La distribución por profundidad mostró el mismo patrón: a 10 cm, la zona alta presentó 13,56 t/ha frente a 10,57 t/ha; a 20 cm, 19,48 t/ha frente a 11,52 t/ha; y a 30 cm, 23,07 t/ha frente a 11,04 t/ha, confirmando mayor acumulación con el aumento de profundidad. En cuanto a las propiedades físicas del suelo, ambas zonas presentaron textura franca, con proporciones similares: en la zona alta 50% arena, 18% arcilla y 33% limo; y en la zona baja 50% arena, 20% arcilla y 31% limo.

Hidalgo (2011), en su investigación sobre el almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales en Tingo María, tuvo como objetivo **estimar** el carbono almacenado en un sistema agroforestal con *Theobroma* sp. Los resultados mostraron 94,383 t/ha de carbono en la biomasa vegetal, 123,181 t/ha de carbono en el suelo y un total acumulado de 217,564 t/ha.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Lugar de ejecución

3.1.1. Ubicación política

La investigación se desarrolló en el Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicado en el distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco, Perú. En dicha área se recolectaron las muestras de suelo, las cuales fueron posteriormente trasladadas al Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía, localizado en el mismo distrito y provincia, donde se realizaron los análisis correspondientes.

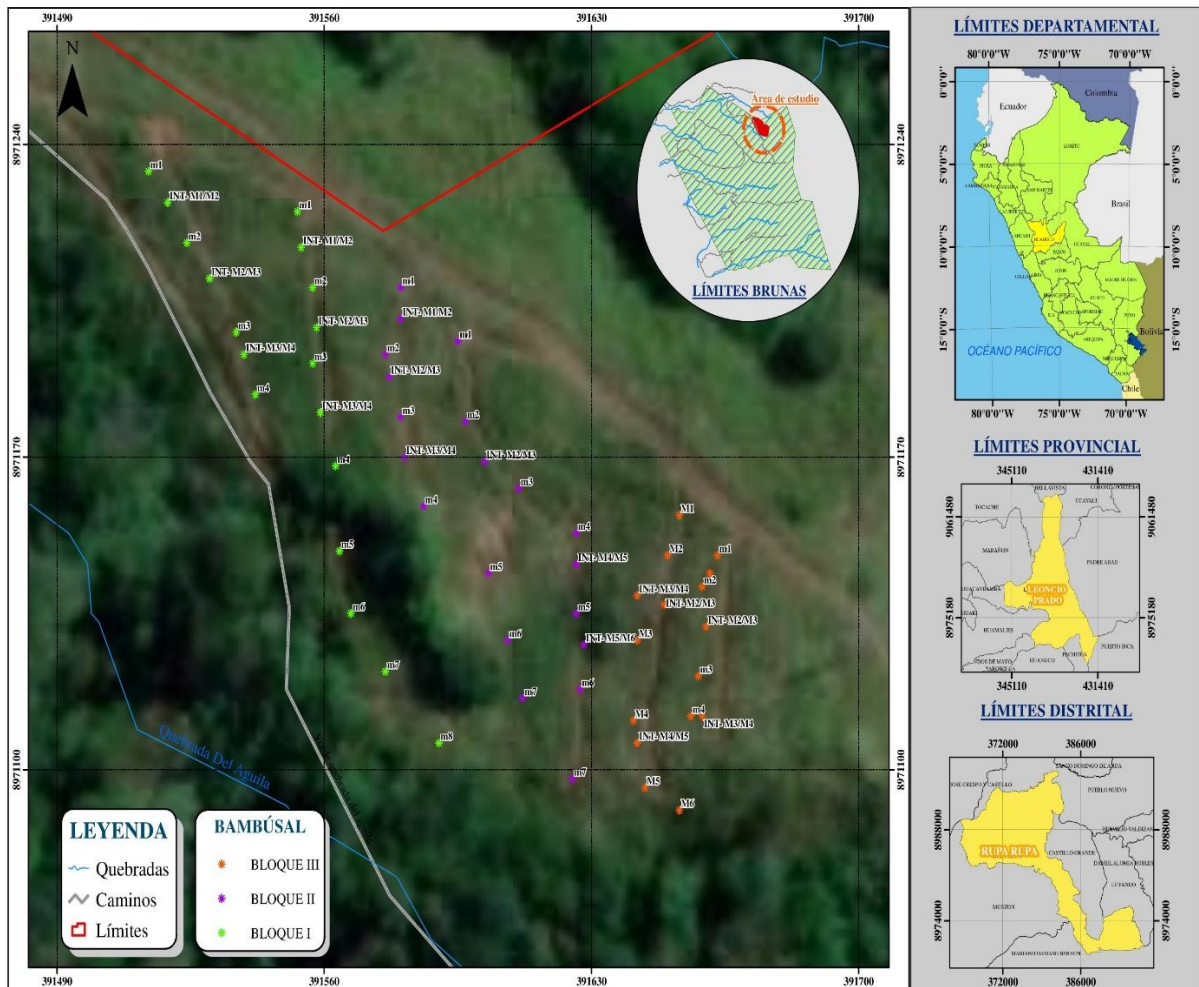


Figura 1. Ubicación del Bosque Reservado de la UNAS

3.1.2. Ubicación geográfica

Geográficamente, el Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, donde se desarrolló la investigación, se localizó en la zona UTM 18L, con

coordenadas Este 391 508 y Norte 8 971 216, a una altitud aproximada de 631 m s. n. m., en el distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco, Perú.

3.1.3. Características climatológicas

El clima de la región se caracterizó por ser cálido y húmedo, con precipitaciones anuales que oscilaron entre 2 000 y 3 500 mm y una temperatura promedio cercana a los 25 °C (MPLP, 2019). Asimismo, las lluvias más intensas se registraron principalmente entre los meses de enero a marzo y de noviembre a diciembre (UNAS, 2017). La humedad relativa promedio fue de 82,5%, con temperaturas máximas de hasta 32,1 °C, mínimas de 19,0 °C y una media anual de 25,7 °C.

3.1.4. Zona de vida

De acuerdo con el mapa ecológico y el sistema de clasificación de Holdridge (1987), la zona de estudio correspondió a la formación de bosque muy húmedo pre-montano tropical (Bmh-pt). Este ecosistema se caracterizó por registrar elevadas precipitaciones anuales, lo que favoreció el desarrollo de una vegetación densa y diversa. La región pre-montana se localizó en altitudes intermedias, condición que moduló el clima local, manteniendo temperaturas relativamente altas y una elevada humedad ambiental. Asimismo, este tipo de bosque desempeñó un papel fundamental en la regulación del ciclo hidrológico, el secuestro de carbono y la conservación de la biodiversidad.

3.1.5. Fisiografía

Los terrenos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva se distribuyeron en tres paisajes fisiográficos principales. El primero correspondió a una llanura extensa, con superficies predominantemente planas o ligeramente onduladas, conformadas por materiales arenosos y arcillosos. El segundo estuvo representado por un paisaje colinoso, caracterizado por lomadas y colinas de diversa altura, desde bajas hasta moderadamente altas, con un grado marcado de disección. El tercer paisaje fue de tipo montañoso y calcáreo, destacándose por elevaciones de considerable altura (Zavala, 1999).

El área de estudio se localizó en la unidad fisiográfica de colina alta, caracterizada por pendientes cercanas o superiores al 25 %. El estudio incluyó sectores que previamente estuvieron sometidos a cultivos de coca. En la actualidad, estas áreas se encuentran

en proceso de recuperación y enriquecimiento mediante la introducción de especies forestales, entre ellas *Inga edulis* y *Dendrocalamus asper*, siendo esta última de aproximadamente cuatro años de edad. Asimismo, en los alrededores del área de estudio se identificaron zonas de purma.

3.2. Materiales

3.2.1. Materiales y equipos

En el trabajo de campo se emplearon equipos como GPS, cinta métrica de 50 m, machete, motoguadaña, jalones, tubos muestreadores, rafia, wincha de 50 m, pala recta, bolsas plásticas y de papel, costales, etiquetas y equipos de protección personal (EPP). Asimismo, se utilizó una cámara fotográfica para el registro y documentación de las actividades realizadas.

En el laboratorio se utilizaron tamices de 2 mm, espátulas, pipetas, cajas Petri, reactivos específicos para cada análisis, una estufa Memmert UF110, un agitador Kingqi, una balanza digital Cavory EK5055, una balanza analítica, cilindros de volumen conocido y un penetrómetro.

Todos estos materiales y equipos fueron empleados para la determinación del carbono orgánico, así como para el análisis de las propiedades físicas y químicas del suelo.

3.3. Criterios de investigación

3.3.1. Tipo de investigación

La investigación fue de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo, dado que se orientó a generar conocimiento útil para la toma de decisiones y el manejo sostenible de plantaciones de *Dendrocalamus asper*, a partir del análisis empírico del carbono orgánico del suelo y de sus propiedades físicas y químicas. Este tipo de investigación se caracteriza por utilizar conocimientos teóricos existentes para resolver problemas concretos del contexto real, sin perseguir exclusivamente la formulación de teoría. Asimismo, según la temporalidad de la recolección de datos, el estudio fue transversal, ya que las mediciones se realizaron en un único momento, permitiendo describir y analizar las relaciones entre las variables en un punto específico del tiempo

Desde el enfoque metodológico, Hernández Sampieri et al. (2014) señalan que la investigación cuantitativa se fundamenta en la medición objetiva de variables, el uso de instrumentos estandarizados y el análisis estadístico para probar relaciones entre variables previamente definidas. En este marco, los estudios aplicados y transversales permiten describir fenómenos, establecer asociaciones y aportar evidencia empírica para la solución de problemas prácticos, sin manipular deliberadamente las variables,

3.3.2. Nivel de investigación

El nivel de la investigación fue descriptivo–correlacional, dado que, en una primera etapa, se orientó a describir y caracterizar el contenido de carbono orgánico del suelo y las propiedades físicas y químicas presentes en una plantación de *Dendrocalamus asper* ubicada en un Bosque Reservado de Tingo María. Posteriormente, el estudio buscó establecer la relación existente entre el carbono orgánico del suelo y dichas propiedades edáficas, con la finalidad de comprender cómo el almacenamiento de carbono se vincula con indicadores de calidad física y química del suelo.

De acuerdo con Hernández Sampieri et al. (2014) los estudios descriptivos tienen como propósito especificar las características y propiedades importantes de personas, grupos, objetos o fenómenos sometidos a análisis, mientras que los estudios correlacionales buscan medir el grado de relación existente entre dos o más variables, sin establecer relaciones de causalidad directa.

3.3.3. Diseño de investigación

El diseño de la investigación fue no experimental, debido a que las variables de estudio no fueron manipuladas de manera deliberada, sino que se observaron y analizaron tal como ocurrieron en su contexto natural, específicamente en la plantación de *Dendrocalamus asper* ubicada en el Bosque Reservado de Tingo María. En este sentido, el estudio se limitó a medir el contenido de carbono orgánico del suelo y sus propiedades físicas y químicas, sin aplicar tratamientos ni alterar las condiciones del sistema evaluado.

De acuerdo con Hernández Sampieri et al. (2014) los diseños no experimentales se caracterizan por observar fenómenos tal como se presentan en la realidad, sin manipulación de variables, mientras que los diseños transeccionales recopilan información en un solo momento con fines descriptivos o correlacionales, características que se ajustan al enfoque metodológico del presente estudio.

3.3.4. Población y muestra

3.3.4.1. Descripción de la población

La población de estudio estuvo conformada por la plantación de *Dendrocalamus asper* ubicada en el Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), en la ciudad de Tingo María, región Huánuco. Esta plantación estuvo constituida por seis filas de plantas, las cuales se encontraron distribuidas de manera regular, con una distancia aproximada de 27 a 30 metros entre cada individuo, lo que definió el universo espacial sobre el cual se desarrolló la investigación.

De acuerdo con Hernández Sampieri et al. (2014) una vez definida la unidad de análisis, “una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones”, y debe delimitarse con claridad para establecer sus características antes de generalizar resultados.

3.3.4.2. Muestra

La muestra estuvo conformada por las unidades de suelo recolectadas en la plantación de *Dendrocalamus asper* ubicada en el Bosque Reservado de Tingo María. Considerando que la plantación estuvo organizada en seis filas, con una distancia aproximada de 30 m entre plantas, el muestreo se realizó mediante transectos a lo largo de cada fila. En cada punto de muestreo se extrajeron muestras de suelo a un costado de las plantas seleccionadas, evaluándose tres profundidades: 0–10 cm, 10–20 cm y 20–30 cm, con la finalidad de representar adecuadamente la variabilidad vertical del suelo.

Según Hernández Sampieri et al. (2014) la muestra es “un subgrupo de la población del cual se recolectan los datos y debe ser representativo de dicha población para que los resultados puedan generalizarse con validez”, por lo que su correcta delimitación depende del tipo de estudio y del diseño metodológico empleado.

3.3.5. Variables

- Carbono orgánico del suelo
- Propiedades físicas
- Propiedades químicas

3.3.6. Técnicas estadísticas

Las técnicas estadísticas empleadas en la investigación se desarrollaron bajo un enfoque no paramétrico, debido a que los datos no cumplieron con el supuesto de normalidad, lo cual fue verificado mediante las pruebas de Shapiro–Wilk y Kolmogórov–Smirnov. Se aplicó estadística descriptiva para caracterizar el carbono orgánico del suelo y las propiedades físicas y químicas evaluadas, utilizando medidas de tendencia central y dispersión. Para comparar las variables entre más de dos grupos independientes, como bloques y profundidades de muestreo, se utilizó la prueba de Kruskal–Wallis. Esta prueba permitió identificar diferencias globales sin asumir normalidad en los datos. Cuando se detectaron diferencias significativas, se aplicó la prueba de Mann–Whitney U. Esta prueba permitió determinar entre qué grupos específicos se presentaron dichas diferencias.

3.4. Metodología

3.4.1. Carbono orgánico del suelo

El estudio se llevó a cabo en una plantación de *Dendrocalamus asper* ubicada en un Bosque Reservado en Tingo María, con el objetivo de evaluar el contenido de carbono orgánico del suelo y sus propiedades físicas y químicas. La plantación estuvo conformada por seis filas de bambú, distribuidas de manera uniforme, con una distancia aproximada de 30 m entre plantas. Para el análisis, las filas se agruparon en tres bloques, cada uno conformado por dos filas consecutivas, con la finalidad de representar la variabilidad espacial dentro de la plantación.

El muestreo de suelo se realizó tanto cerca a la mata de bambú como entre plantas, en todas las filas y bloques establecidos. En cada punto de muestreo, las muestras se recolectaron a tres profundidades: 0–10 cm, 10–20 cm y 20–30 cm. La extracción del suelo se efectuó utilizando un tubo de volumen conocido, con apoyo de un martillo y una tabla de madera, asegurando una adecuada inserción del muestreador y evitando la compactación del suelo. En cada punto se obtuvieron tres submuestras, las cuales fueron homogenizadas para conformar una muestra compuesta de aproximadamente 500 g. Finalmente, las muestras fueron almacenadas en bolsas debidamente rotuladas y trasladadas al laboratorio (**Figura 2**).

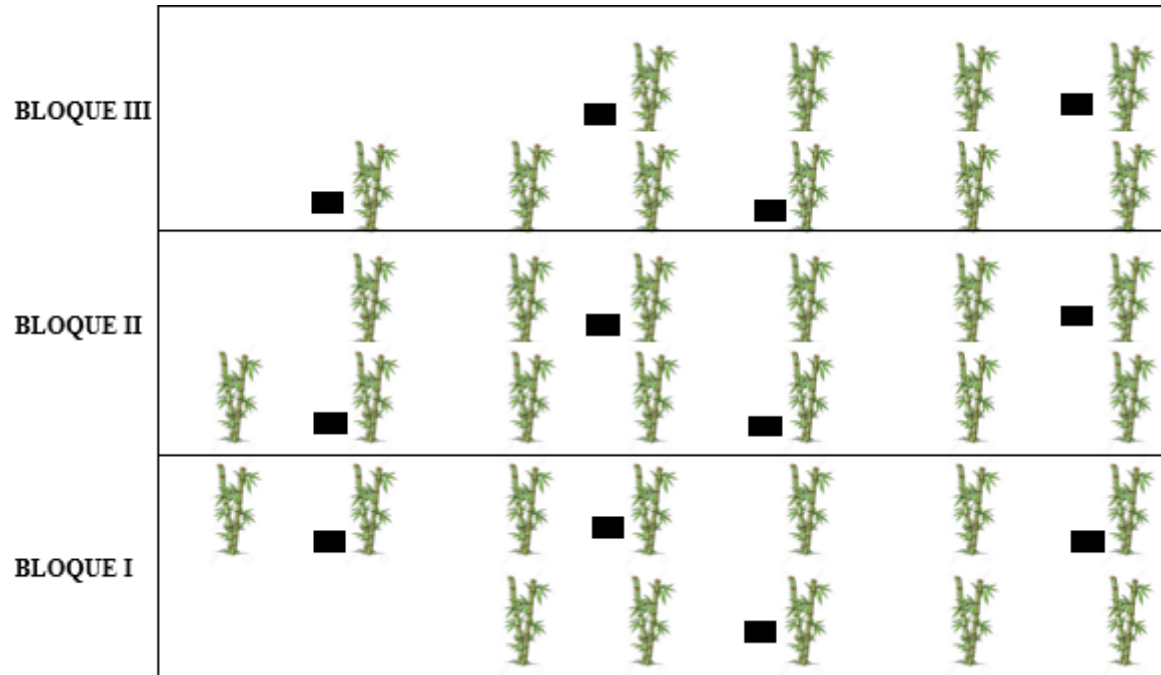


Figura 2. Disposición de las matas de *Dendrocalamus asper*

Para la determinación del carbono orgánico del suelo, se estimó previamente la densidad aparente en cada una de las profundidades evaluadas. Posteriormente, las muestras fueron deshidratadas en una estufa a 105 °C hasta alcanzar peso constante. El análisis del carbono orgánico del suelo se realizó mediante el método de Walkley-Black o por combustión seca, de acuerdo con la disponibilidad de recursos del laboratorio, permitiendo cuantificar el contenido de carbono orgánico asociado a los diferentes estratos del suelo en la plantación de *Dendrocalamus asper*.

3.4.1.1. Determinación de la densidad del suelo, el peso y volumen

El contenido de carbono orgánico del suelo se evaluó siguiendo el procedimiento propuesto por Rugnitz et al. (2009), el cual incluyó el cálculo de la densidad aparente, el secado de las muestras a 105 °C hasta peso constante y la aplicación de métodos analíticos como Walkley-Black o combustión seca para la determinación del carbono orgánico.

$$DA \text{ (g/cc)} = \text{PSN/VCH}$$

Donde:

DA : Densidad aparente (g/cc)

PSN : Peso seco del suelo dentro del cilindro

VCH : Volumen del cilindro (constante)

Para calcular la masa del volumen de suelo en cada horizonte de muestreo, se empleó la ecuación específica para la determinación de la densidad aparente del suelo. Este cálculo se realizó utilizando las muestras extraídas a diferentes profundidades (0–10 cm, 10–20 cm y 20–30 cm), asegurando la precisión en la medición del volumen y del peso del suelo. Mediante esta metodología se obtuvo la masa del suelo, lo que permitió estimar de manera precisa la densidad aparente y, en consecuencia, el contenido de carbono orgánico en cada horizonte evaluado.

$$PVs \text{ (t/ha)} = DA \times Ps \times 10000$$

Donde

PVs = Peso del volumen del suelo (t/ha)

DA = Densidad aparente

Ps = Espesor o profundidad del horizonte del suelo

10000 = Constante

3.4.1.2. Cantidad de carbono orgánico almacenado en el suelo

Para calcular el carbono almacenado en el suelo, se utilizó el método de Walkley y Black, el cual permitió determinar el porcentaje de materia orgánica (%MO) mediante análisis de laboratorio. Posteriormente, el contenido de carbono del suelo se calculó aplicando la ecuación correspondiente, lo que permitió obtener una estimación precisa de la cantidad de carbono almacenado en cada muestra de suelo analizada.

$$CS \text{ (t/ha)} = (PVs \times \%C)/100$$

Donde:

CS : Carbono en el suelo (t/ha)

PVs : Peso del volumen del suelo

%C : Factor de conversión

3.4.2. Propiedades físicas y químicas del suelo

El muestreo de las propiedades físicas y químicas del suelo se realizó mediante un recorrido sistemático en zig-zag a lo largo de cada fila de la plantación de *Dendrocalamus asper*, efectuándose una única toma de muestras durante el periodo de evaluación. Este procedimiento permitió cubrir de manera representativa la variabilidad espacial del suelo dentro de cada fila y entre los bloques establecidos en la plantación.

3.4.2.1. Textura

Se tomaron muestras de suelo en puntos distribuidos aleatoriamente dentro de las filas de plantación, asegurándose de que se ubicaran próximas a las plantas. Posteriormente, las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), donde se realizó el análisis físico del suelo para la determinación de la textura. Este análisis permitió caracterizar la estructura del suelo y su capacidad de retención de agua y nutrientes, aspectos fundamentales para la interpretación de su comportamiento edáfico.

3.4.2.2. Densidad aparente

Siguiendo el protocolo establecido por Flores y Alcalá (2010), las muestras de suelo se tomaron aleatoriamente cerca de las plantas dentro de cada fila de plantación, con el propósito de obtener una muestra representativa del suelo del área de estudio. Para ello, se utilizó un cilindro muestreador, aplicado en direcciones verticales y horizontales, cuidando de no compactar el suelo durante el procedimiento. Una vez obtenidas, las muestras fueron almacenadas en bolsas herméticas y transportadas al laboratorio. En laboratorio, se sometieron a secado en estufa a 110 °C durante 24 horas, hasta alcanzar peso constante. Con el peso final, se calculó la densidad aparente del suelo, además de determinar la humedad y el volumen de la muestra, lo que permitió una caracterización integral de las propiedades físicas del suelo en la plantación de bambú.

$$V_t = \frac{D^2 \pi}{4} h \quad Db = \frac{P_{ss}}{V_t}$$

Donde:

V_t : es el volumen de la muestra.

D : es el diámetro del cilindro.

h : es la altura del cilindro.

P_{ss} : es el peso del suelo seco.

Db : es la densidad aparente del suelo.

Para el análisis químico de las propiedades del suelo, se realizó un muestreo sistemático en zig-zag en cada fila de plantación, utilizando una pala recta para la

extracción del suelo. Las muestras se obtuvieron hasta una profundidad de 30 cm, garantizando una recolección representativa en toda la parcela. Posteriormente, las muestras se homogenizaron y se conformaron muestras compuestas de aproximadamente 500 g por subparcela. Finalmente, fueron remitidas al Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía de la UNAS para su respectivo análisis químico.

3.4.2.3. pH del suelo

El pH del suelo se determinó mediante el método del potenciómetro, el cual consistió en medir el potencial eléctrico de una suspensión suelo-agua para evaluar su grado de acidez o alcalinidad. Este parámetro resultó fundamental, debido a su influencia directa en la disponibilidad de nutrientes y en la actividad microbiológica del suelo.

3.4.2.4. Materia orgánica

La cantidad de materia orgánica del suelo se determinó mediante el método de Walkley y Black, procedimiento ampliamente utilizado para estimar el contenido de carbono orgánico a través de una titulación. Este análisis fue esencial, dado que la materia orgánica desempeña un papel clave en la fertilidad del suelo, así como en su capacidad de retención de nutrientes y agua.

3.4.2.5. Nitrógeno total

Para determinar el contenido de nitrógeno total en el suelo, se utilizó el método de Kjeldahl, el cual permitió cuantificar el nitrógeno total presente en las muestras. Este nutriente resultó fundamental para el crecimiento vegetal, debido a su participación en la síntesis de proteínas y en otros procesos metabólicos esenciales de las plantas.

3.4.2.6. Fósforo disponible

El fósforo disponible se analizó utilizando el método de Olsen modificado, el cual permitió determinar la fracción de fósforo presente en formas asimilables por las plantas. Este nutriente resultó esencial para las funciones energéticas y estructurales, especialmente en los procesos de fotosíntesis y desarrollo radicular.

3.4.2.7. Potasio disponible

El potasio disponible en el suelo se determinó mediante el método del ácido sulfúrico 6N, lo que permitió cuantificar la fracción de potasio accesible para las plantas. Este análisis

fue fundamental para evaluar la disponibilidad de este nutriente, dado su rol clave en la regulación hídrica y en los procesos metabólicos de las células vegetales.

3.4.2.8. Bases cambiables

El análisis de las bases cambiables se llevó a cabo mediante el método del versenato, lo que permitió cuantificar los cationes intercambiables del suelo, principalmente calcio, magnesio y potasio. Estos elementos resultaron fundamentales para evaluar la neutralización de la acidez del suelo y la disponibilidad de nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas.

3.4.3. Correlación del carbono almacenado con los indicadores fisicoquímicos

Para evaluar la relación entre el carbono orgánico del suelo y las propiedades físicas y químicas en el sistema de bambú, se verificó previamente la normalidad de los datos mediante las pruebas de Shapiro–Wilk y Kolmogórov–Smirnov. Dado que los datos no cumplieron con el supuesto de normalidad, se optó por utilizar el coeficiente de correlación de Spearman, adecuado para variables con distribución no normal.

El coeficiente de Spearman permitió analizar la asociación entre el carbono orgánico del suelo y variables como textura, densidad aparente, pH, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo disponible y potasio. La interpretación se realizó considerando que valores cercanos a +1 indican correlaciones positivas, valores cercanos a -1 relaciones inversas y valores próximos a 0 ausencia de asociación. La significancia estadística se evaluó mediante el p-valor, considerando niveles de confianza del 95% ($p < 0.05$) y 99% ($p < 0.01$). Todo el análisis estadístico se realizó utilizando el software InfoStat.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Contenido de carbono orgánico del suelo de una plantación de *Dendrocalamus asper*

El contenido de carbono orgánico del suelo en la plantación de *Dendrocalamus asper* del Bosque Reservado de Tingo María mostró una distribución vertical claramente estratificada, con mayores concentraciones en el estrato superficial (0–10 cm) y una disminución progresiva hacia las capas más profundas (10–20 y 20–30 cm), patrón que se mantuvo de manera consistente en los tres bloques evaluados y en ambas posiciones de muestreo.

Tabla 1. Carbono orgánico del suelo (t/ha) a tres profundidades

Bloque	Posición de muestreo	Profundidad (cm)	Media (%)	Desv. estándar	Mínimo	Máximo
B1	Planta	0–10	16.67	0.46	16.24	17.2
		10–20	12.5	0.56	12.09	13.12
		20–30	10.88	1.33	9.26	12.81
	Total		40.05			
	Entre plantas	0–10	18.89	4.38	11.88	23.13
		10–20	16.82	1.71	14.11	18.2
20–30		13.24	2.07	10.34	15.87	
Total		48.95				
B2	Planta	0–10	14.7	2.66	9.18	17.25
		10–20	13.4	1.1	11.94	14.38
		20–30	9.9	1.61	8.25	12.09
	Total		37.91			
	Entre plantas	0–10	16.85	2.42	14.07	19.91
		10–20	9.37	3.25	6.43	14.74
20–30		7.11	2.52	5.6	11.71	
Total		33.33				
B3	Planta	0–10	15.96	5.04	8.27	20.38
		10–20	13.91	3.33	9.26	17.64
		20–30	11.33	3.83	6.1	14.83

Total		41.2			
	0–10	15.91	4.88	10.93	22.99
Entre plantas	10–20	15.86	2.97	11.62	18.72
	20–30	13.88	2.2	10.3	15.59
Total		45.65			

En el bloque B1, los valores medios de carbono orgánico cerca a la planta fueron de 16.67 % en el estrato 0–10 cm, 12.50 % en 10–20 cm y 10.88 % en 20–30 cm, acumulando un total de 40.05 % en el perfil 0–30 cm. En contraste, las muestras tomadas entre plantas presentaron valores superiores en todos los estratos, alcanzando un contenido total de 48.95 %, lo que indica una mayor acumulación de carbono orgánico en los interespacios de este bloque. Esta variabilidad sugiere una influencia combinada del aporte de residuos orgánicos superficiales y de la heterogeneidad microambiental del suelo.

En el bloque B2, el carbono orgánico total fue mayor en las muestras cercanas a la planta (37.91 %) en comparación con aquellas tomadas entre plantas (33.33 %). Este comportamiento se explica principalmente por la marcada reducción del carbono orgánico en los estratos 10–20 y 20–30 cm en los interespacios, donde se registraron los valores más bajos del estudio (mínimos de 6.43 % y 5.60 %, respectivamente), evidenciando una menor incorporación de carbono en profundidad fuera de la influencia directa del sistema radical del bambú.

Por su parte, en el bloque B3 se observó una tendencia opuesta a la del bloque B2, con mayores contenidos totales de carbono orgánico entre plantas (45.65 %) respecto a las muestras cercanas a la planta (41.20 %). Este patrón estuvo asociado a valores relativamente altos y homogéneos de carbono orgánico en los tres estratos del suelo entre plantas, particularmente en los horizontes más profundos (10–20 y 20–30 cm), lo que sugiere condiciones favorables para la estabilización del carbono en el perfil edáfico (**Figura 3**).

De manera general, la suma del carbono orgánico en el perfil 0–30 cm evidencia que la plantación de *Dendrocalamus asper* contribuye a una acumulación importante de carbono orgánico en el suelo, aunque con variaciones espaciales entre bloques y posiciones de muestreo. Estas diferencias reflejan la influencia del manejo, la distribución del sistema radical, el aporte de hojarasca y las condiciones locales del suelo, características propias de ecosistemas forestales permanentes y de bosques reservados.

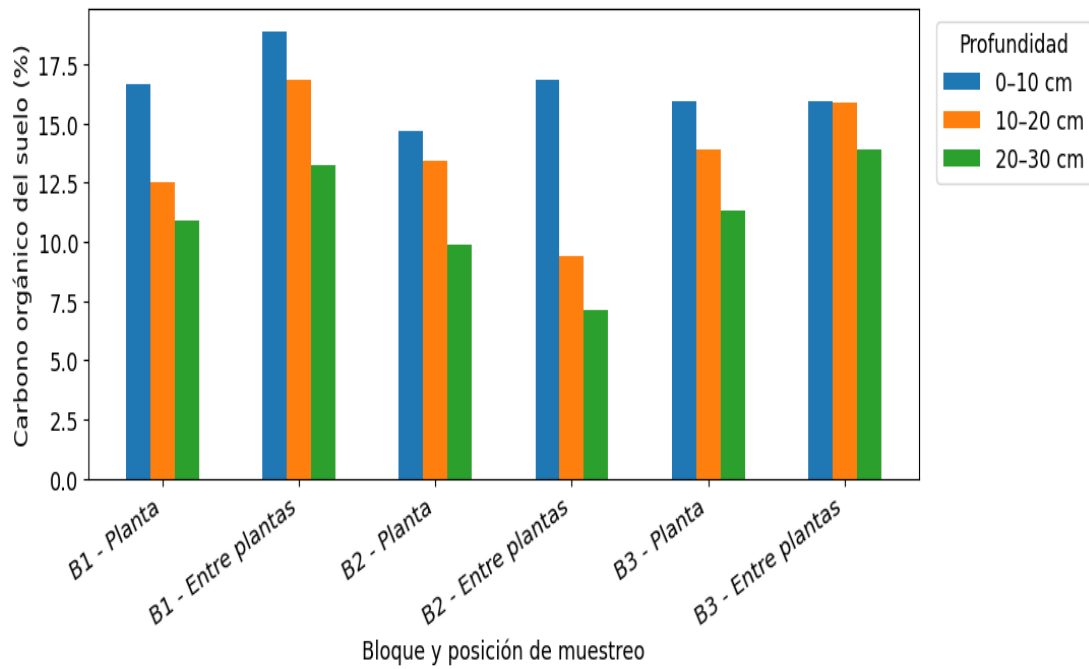


Figura 3. Carbono orgánico del suelo a tres profundidades

La prueba no paramétrica de Kruskal–Wallis aplicada al contenido de carbono orgánico del suelo (t/ha) entre los bloques B1, B2 y B3 no mostró diferencias estadísticamente significativas ($H = 0.01$; $p = 0.9947$). Si bien se registraron ligeras variaciones en los valores de media y mediana —con 12.93 t/ha en B1, 13.65 t/ha en B2 y 13.90 t/ha en B3— estas diferencias no fueron suficientes para establecer un efecto del bloque sobre el carbono orgánico del suelo, dado que los rangos promedio fueron muy similares (**Tabla 2**).

Tabla 2. Prueba de Kruskal–Wallis para el carbono orgánico del suelo (t/ha) en los diferentes bloques

Bloque	n	Media	Mediana	Rango promedio	Estadístico H	p-valor
B1	9	12.93	12.23	13.7	0.01	0.9947
B2	9	13.65	14.27	14		
B3	9	13.9	13.48	13.9		

La prueba no paramétrica de U de Mann–Whitney aplicada al contenido de carbono orgánico del suelo (t/ha) entre las posiciones de muestreo Planta y Entre plantas no evidenció diferencias estadísticas significativas ($U = 330$; $p = 0.5564$). Aunque los valores medios y medianos fueron ligeramente mayores en la posición Planta (media = 13.92 t/ha; mediana = 13.48 t/ha) en comparación

con Entre plantas (media = 13.79 t/ha; mediana = 13.24 t/ha), estas variaciones no fueron suficientes para establecer un efecto significativo de la posición de muestreo sobre el carbono orgánico del suelo.

Tabla 3. Prueba de U Mann–Whitney para el carbono orgánico del suelo (t/ha) en las posiciones de muestreo

Posición de muestreo	n	Media	Mediana	Estadístico U	p-valor
Planta	27	13.92	13.48	330	0.5564
Entre plantas	27	13.79	13.24		

La prueba no paramétrica de Kruskal–Wallis aplicada al contenido de carbono orgánico del suelo (t/ha) en las diferentes profundidades del perfil mostró diferencias estadísticamente significativas ($H = 19.28$; $p = 0.000065$). El estrato superficial de 0–10 cm presentó los valores más altos de carbono orgánico (media = 16.39 t/ha; mediana = 16.83 t/ha), seguido por el estrato 10–20 cm (media = 13.48 t/ha; mediana = 13.40 t/ha), mientras que el estrato 20–30 cm registró los valores más bajos (media = 10.96 t/ha; mediana = 10.89 t/ha). Los rangos promedio decrecieron progresivamente con la profundidad, lo que evidencia una clara estratificación vertical del carbono orgánico del suelo

Tabla 4. Prueba de Kruskal–Wallis para el carbono orgánico del suelo (t/ha) en las diferentes profundidades del suelo

Profundidad (cm)	n	Media	Mediana	Rango promedio	Estadístico H	p-valor
0–10	18	16.39	16.83	40.6	19.28	0.000065
10–20	18	13.48	13.4	29.7		
20–30	18	10.96	10.89	18.2		

La **Figura 4** evidencia que el carbono orgánico del suelo (t/ha) presenta una variación significativa en función de la profundidad. El estrato superficial (0–10 cm) registró los valores más altos, seguido por los estratos de 10–20 cm y 20–30 cm, conformando grupos estadísticos diferenciados (a, b y c), lo que confirma una marcada estratificación vertical del carbono orgánico en el perfil del suelo. Este comportamiento se ve respaldado por el dendrograma por profundidad, donde el estrato superficial se separa claramente del estrato profundo, mientras que el estrato intermedio ocupa una posición transicional, reforzando la

influencia de la profundidad como principal factor explicativo de la variación del carbono orgánico.

En contraste, no se observaron diferencias estadísticas significativas en el carbono orgánico del suelo entre las posiciones de muestreo (Planta y Entre plantas) ni entre los bloques, ya que todas las medias compartieron el mismo grupo estadístico (a). Esta tendencia es coherente con el dendrograma por bloques, el cual muestra una alta similitud entre ellos, indicando una distribución horizontal homogénea del carbono orgánico dentro de la plantación de *Dendrocalamus asper*.

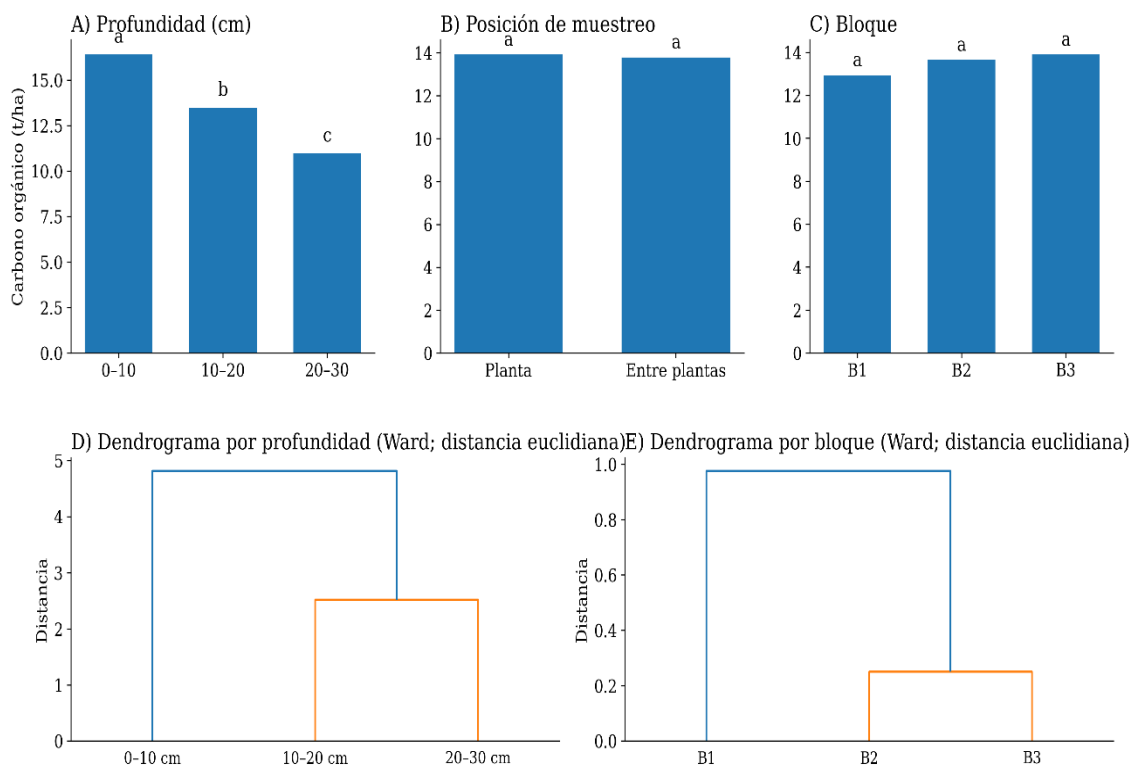


Figura 4. Comparación de medias del carbono orgánico del suelo (t/ha)

Los resultados obtenidos en la plantación de *Dendrocalamus asper* evidencian que el carbono orgánico del suelo se concentra principalmente en el estrato superficial, con valores de 16.39 t/ha en 0–10 cm, disminuyendo progresivamente hacia 13.48 t/ha en 10–20 cm y 10.96 t/ha en 20–30 cm. Este comportamiento es coincidente con lo reportado por Morales et al. (2018) y Vargas et al. (2020), quienes señalaron que los mayores contenidos de carbono orgánico suelen encontrarse en los primeros centímetros del suelo debido al aporte constante de hojarasca y a la mayor actividad biológica en la superficie. De manera similar, Condor (2019) reportó una marcada disminución del carbono orgánico con la profundidad en suelos del Bosque

Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, lo que confirma una estratificación vertical del carbono en ecosistemas forestales tropicales.

Sin embargo, al comparar las magnitudes absolutas, los valores registrados en este estudio para el estrato 0–30 cm (≈ 40.83 t/ha) resultan inferiores a los reportados por Burga (2017), quien encontró valores entre 105.86 y 133.57 t/ha en bosques primarios y secundarios, así como a los reportados por Condor (2019), con valores superiores a 85 t/ha en determinadas unidades fisiográficas. No obstante, los resultados del presente estudio son similares a los obtenidos por Santos (2016) en sistemas con menor acumulación de carbono, donde se reportaron valores cercanos a 14 t/ha, lo que evidencia que el almacenamiento de carbono orgánico puede variar ampliamente según el tipo de cobertura vegetal y el manejo del suelo.

Respecto a la posición de muestreo, los valores obtenidos en Planta (13.92 t/ha) y Entre plantas (13.79 t/ha) no mostraron diferencias apreciables, lo cual coincide con lo señalado por Vargas et al. (2020), quienes indicaron que en sistemas forestales homogéneos la distribución horizontal del carbono orgánico tiende a ser uniforme. Sin embargo, estos resultados discrepan con los hallazgos de Acuña (2023) en plantaciones de *Guadua angustifolia* en el BRUNAS, donde se registraron valores superiores de carbono orgánico en zonas cercanas a la mata en comparación con áreas más alejadas, atribuibles a una mayor acumulación de residuos orgánicos y raíces finas alrededor de la planta.

De manera similar, la ausencia de diferencias entre bloques, con valores comprendidos entre 12.93 y 13.90 t/ha, es consistente con lo reportado por Condor (2019) y Morales et al. (2018), quienes señalaron que, en áreas con condiciones edáficas relativamente homogéneas, la variación espacial del carbono orgánico entre unidades de muestreo suele ser reducida. Por lo tanto, los resultados del presente estudio refuerzan la idea de que la profundidad del suelo es el principal factor que explica la variación del carbono orgánico, mientras que la posición de muestreo y los bloques tienen una influencia limitada.

Las diferencias observadas entre los resultados de este estudio y los reportados por otros autores pueden atribuirse principalmente al tipo de cobertura vegetal (plantación de bambú frente a bosques primarios o secundarios), al grado de manejo e intervención del suelo, así como a las condiciones edafoclimáticas locales, que influyen directamente en la tasa de descomposición de la materia orgánica.

4.2. Propiedades físicas y químicas del suelo de una plantación de *Dendrocalamus asper*

4.2.1. Densidad aparente (g/cm^3)

La densidad aparente del suelo mostró variación en función de la profundidad, la posición de muestreo y el bloque.

Tabla 5. Densidad aparente (g/cm^3) del suelo

Bloque	Posición de muestreo	Profundidad (cm)	Media	Desv. estándar	Mínimo	Máximo
B1	Planta	0–10	0.764	0.038	0.7	0.801
		10–20	0.742	0.091	0.672	0.903
		20–30	0.716	0.116	0.554	0.818
	Entre plantas	0–10	0.704	0.142	0.455	0.886
		10–20	0.812	0.082	0.695	0.897
		20–30	0.878	0.122	0.685	1.052
B2	Planta	0–10	0.712	0.148	0.465	0.875
		10–20	0.768	0.064	0.686	0.826
		20–30	0.738	0.131	0.618	0.907
	Entre plantas	0–10	0.702	0.096	0.564	0.798
		10–20	0.85	0.261	0.583	1.337
		20–30	0.817	0.268	0.643	1.346
B3	Planta	0–10	0.688	0.192	0.356	0.878
		10–20	0.737	0.189	0.515	0.981
		20–30	0.804	0.224	0.42	1.023
	Entre plantas	0–10	0.572	0.151	0.401	0.844
		10–20	0.689	0.124	0.527	0.849
		20–30	0.898	0.131	0.683	1.034

En el bloque B1, la densidad bajo planta presentó valores medios relativamente homogéneos entre profundidades (0.764 g/cm^3 en 0–10 cm; 0.742 g/cm^3 en 10–20 cm; 0.716 g/cm^3 en 20–30 cm), mientras que entre plantas se observó un incremento progresivo con la profundidad, alcanzando el mayor valor en 20–30 cm (0.878 g/cm^3). En el bloque B2, la densidad aparente bajo planta varió entre 0.712 y 0.768 g/cm^3 , sin una tendencia

clara con la profundidad, mientras que entre plantas se registraron valores más altos y mayor dispersión, destacando 0.850 g/cm^3 (10–20 cm) y 0.817 g/cm^3 (20–30 cm), con máximos de hasta 1.346 g/cm^3 . En el bloque B3, los menores valores se presentaron en la capa superficial entre plantas (0.572 g/cm^3), incrementándose con la profundidad hasta 0.898 g/cm^3 en 20–30 cm, mientras que bajo planta la densidad aumentó gradualmente desde 0.688 g/cm^3 (0–10 cm) hasta 0.804 g/cm^3 (20–30 cm). En general, los mayores valores de densidad aparente se registraron en las capas más profundas y en la posición entre plantas, evidenciando una mayor compactación del suelo en comparación con las zonas bajo planta (**Tabla 5** y **Figura 5**).

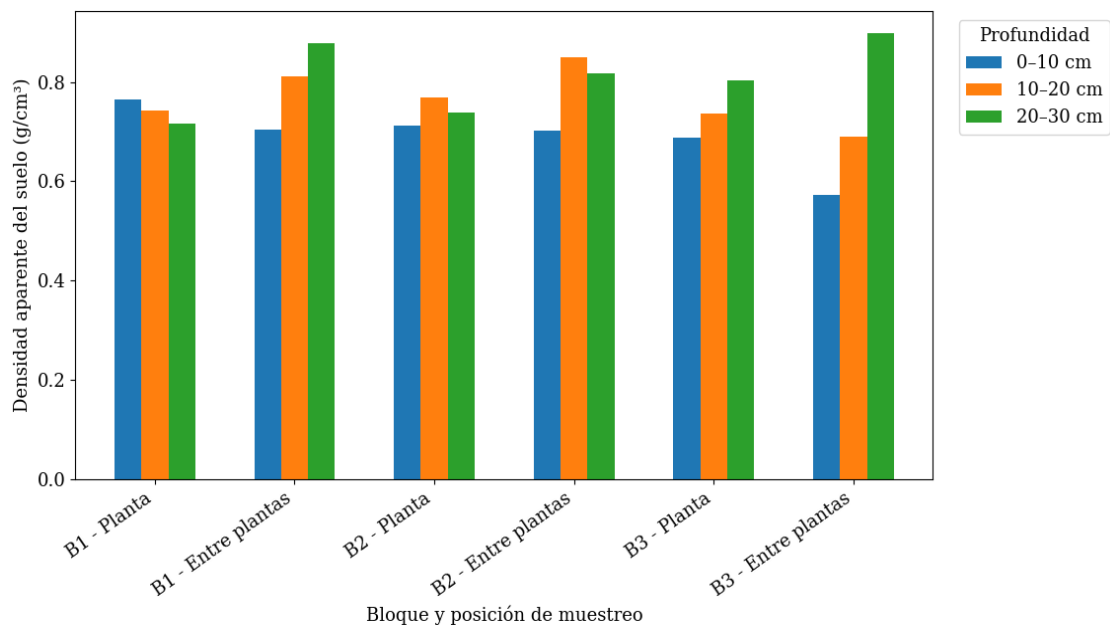


Figura 5. Densidad aparente (g/cm^3) del suelo a diferentes profundidades

La prueba no paramétrica de Kruskal–Wallis aplicada a la densidad aparente del suelo entre los diferentes bloques no evidenció diferencias estadísticamente significativas. Los valores medios de densidad aparente fueron similares entre los bloques, con 0.78 g/cm^3 en B1, 0.77 g/cm^3 en B2 y 0.76 g/cm^3 en B3, y medianas cercanas entre sí (0.77 , 0.76 y 0.75 g/cm^3 , respectivamente). El estadístico H obtenido fue bajo ($H = 0.76$) y el p-valor fue mayor que 0.05 ($p = 0.6834$), lo que indica que la variación observada en la densidad aparente no depende del bloque de muestreo. En consecuencia, los bloques presentan un comportamiento homogéneo en términos de densidad aparente del suelo

Tabla 6. Prueba de Kruskal–Wallis para la densidad aparente (g/cm^3) en los diferentes bloques

Bloque	n	Media (g/cm^3)	Mediana (g/cm^3)	Estadístico H	p-valor
B1	12	0.78	0.77	0.76	0.6834
B2	12	0.77	0.76		
B3	12	0.76	0.75		

La prueba no paramétrica de U de Mann–Whitney aplicada a la densidad aparente del suelo según la posición de muestreo no mostró diferencias estadísticamente significativas entre las muestras tomadas en planta y entre plantas. Los valores medios de densidad aparente fueron muy similares, con 0.76 g/cm^3 para la posición planta y 0.77 g/cm^3 para entre plantas, así como medianas cercanas (0.74 y 0.76 g/cm^3 , respectivamente). El estadístico U obtenido fue de 150 y el p-valor fue mayor que 0.05 ($p = 0.716$), lo que indica que la posición de muestreo no influye de manera significativa en la densidad aparente del suelo. En consecuencia, ambas posiciones presentan un comportamiento homogéneo respecto a esta propiedad física.

Tabla 7. Prueba de U Mann–Whitney para la densidad aparente (g/cm^3) en las posiciones de muestreo

Posición de muestreo	n	Media (g/cm^3)	Mediana (g/cm^3)	Estadístico U	p-valor
Planta	18	0.76	0.74	150	0.716
Entre plantas	18	0.77	0.76		

La prueba no paramétrica de Kruskal–Wallis aplicada a la densidad aparente del suelo en función de la profundidad mostró diferencias estadísticamente significativas entre los estratos evaluados. Los valores medios evidencian un incremento progresivo de la densidad aparente con la profundidad, registrándose 0.70 g/cm^3 en el estrato 0–10 cm, 0.79 g/cm^3 en 10–20 cm y 0.84 g/cm^3 en 20–30 cm, con medianas concordantes con esta tendencia. El estadístico obtenido fue $H = 7.72$ y el p-valor fue menor que 0.05 ($p = 0.0211$), lo que indica que la profundidad del suelo influye significativamente en la densidad aparente. Este comportamiento sugiere una mayor compactación del suelo en los estratos subsuperficiales en comparación con la capa superficial (**Tabla 8**).

Tabla 8. Prueba de Kruskal–Wallis para para la densidad aparente (g/cm^3) en las diferentes profundidades del suelo

Profundidad (cm)	n	Media (g/cm^3)	Mediana (g/cm^3)	Estadístico H	p-valor
0–10	36	0.7	0.72	7.72	0.0211
10–20	36	0.79	0.78		
20–30	36	0.84	0.82		

La densidad aparente del suelo mostró un comportamiento claramente diferenciado según la profundidad, con valores significativamente mayores en el estrato 20–30 cm ($0.84 \text{ g}/\text{cm}^3$), seguido de 10–20 cm ($0.79 \text{ g}/\text{cm}^3$) y 0–10 cm ($0.70 \text{ g}/\text{cm}^3$), lo cual se refleja tanto en las barras con letras distintas como en el dendrograma por profundidad. El análisis de agrupamiento indica que los estratos 10–20 cm y 20–30 cm presentan mayor similitud entre sí, mientras que el estrato superficial 0–10 cm se separa claramente, evidenciando una menor compactación asociada a una mayor influencia de materia orgánica y actividad biológica

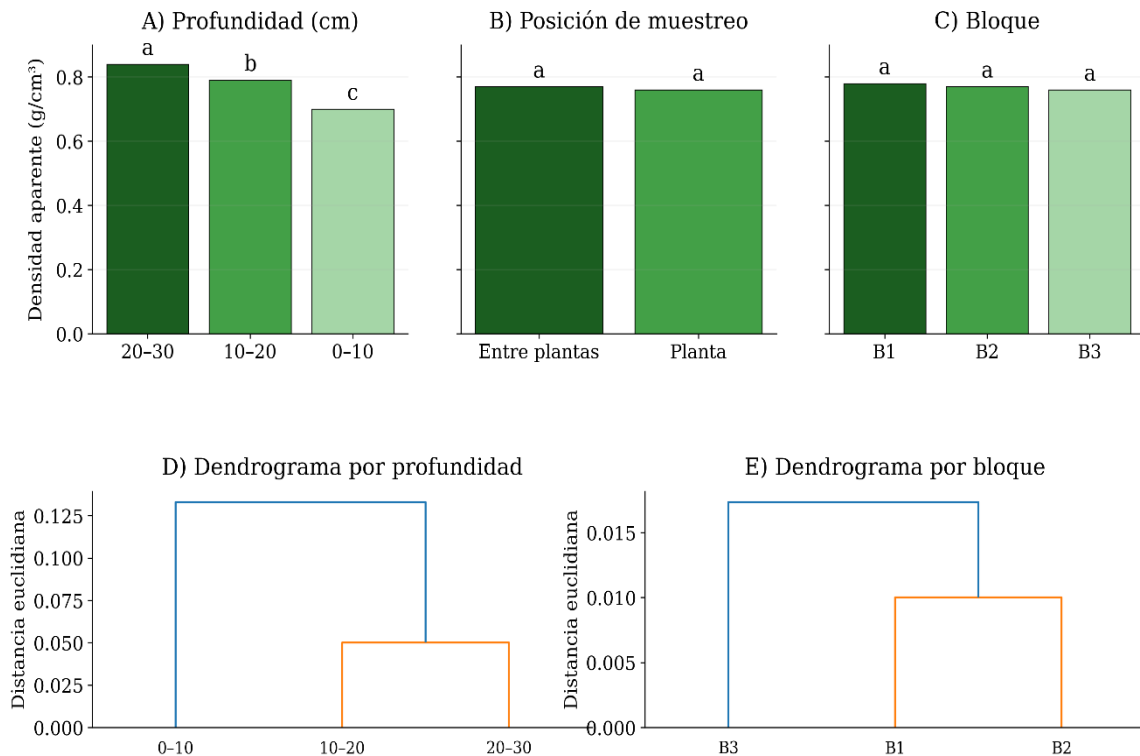


Figura 6. Comparación de medias de la densidad aparente (g/cm^3)

En contraste, no se observaron diferencias en la densidad aparente ni por posición de muestreo ni entre bloques, ya que los valores medios entre planta y entre plantas fueron muy similares ($\approx 0.76\text{--}0.77\text{ g/cm}^3$), al igual que entre los bloques B1, B2 y B3. Esta homogeneidad se confirma visualmente por la asignación de la misma letra estadística y por el dendrograma por bloque, donde B1 y B2 se agrupan estrechamente, mientras que B3 presenta una leve separación, sin implicar variaciones relevantes en términos de compactación del suelo. En conjunto, los resultados evidencian que la profundidad es el principal factor que condiciona la densidad aparente, mientras que el bloque y la posición de muestreo no generan cambios estructurales apreciables (**Figura 6**).

Los valores de densidad aparente obtenidos en el presente estudio ($0.70\text{--}0.84\text{ g/cm}^3$) se ubican por debajo de los reportados en la mayoría de estudios realizados en ecosistemas forestales y agroforestales amazónicos y andinos, lo que sugiere condiciones físicas favorables del suelo bajo el sistema evaluado. En comparación, Garay (2024) registró densidades promedio de 1.33 g/cm^3 en suelos del BRUNAS, mientras que Koicheoski (2022) reportó valores entre 0.93 y 1.06 g/cm^3 en sistemas de cacao, plátano, café y purma. De forma similar, Calderón et al. (2018) informaron densidades cercanas a 1.34 g/cm^3 en bosques y sistemas agroforestales del Meta (Colombia). Estas diferencias indican que los suelos del presente estudio presentan menor compactación, posiblemente asociada a una mayor estabilidad estructural y menor presión antrópica directa.

Asimismo, el incremento progresivo de la densidad aparente con la profundidad ($20\text{--}30\text{ cm} > 10\text{--}20\text{ cm} > 0\text{--}10\text{ cm}$) concuerda con lo reportado por Rodríguez (2024), quien observó mayores valores de densidad en estratos más profundos bajo plantaciones forestales en áreas degradadas por minería. Este patrón también es coherente con la disminución de materia orgánica y actividad biológica en profundidad, tal como señalan Tocto (2025) y Trillo et al. (2023), quienes destacan que el aumento de la materia orgánica superficial bajo *Guadua angustifolia* favorece la agregación del suelo y reduce su compactación. En este sentido, los menores valores de densidad aparente en el estrato $0\text{--}10\text{ cm}$ del presente estudio serían consistentes con los incrementos de carbono, nitrógeno y materia orgánica documentados por estos autores.

Por otro lado, la ausencia de diferencias en densidad aparente entre planta y entre plantas, así como entre bloques, coincide con los resultados de Acuña (2023), quien no encontró variaciones significativas en propiedades físicas del suelo a diferentes distancias de la mata de *Guadua angustifolia*. Este comportamiento sugiere que el efecto estructural del bambú sobre el suelo se manifiesta de manera relativamente homogénea en el área de

influencia del rodal, a diferencia de otros sistemas de uso del suelo donde la densidad aparente varía notablemente según cobertura y manejo, como lo evidencian Fernández (2024) y Koicheoski (2022).

Finalmente, al comparar con Lituma (2024), quien reportó densidades notablemente menores en rodales naturales de *Guadua angustifolia* (0.484 g/cm^3), se observa que los valores del presente estudio son superiores, lo que podría atribuirse a diferencias en textura, contenido de materia orgánica, condiciones climáticas, grado de intervención del suelo y estado de desarrollo del rodal. En conjunto, las discrepancias observadas entre estudios pueden explicarse por la interacción entre profundidad, contenido de materia orgánica, tipo de cobertura vegetal, uso previo del suelo y contexto edafoclimático, reafirmando que la densidad aparente es un indicador altamente sensible a la dinámica ecológica y al manejo del suelo bajo sistemas forestales y de bambú.

4.2.2. Textura y conductibilidad eléctrica

Los resultados del análisis físico del suelo muestran que, en los tres bloques evaluados (B1, B2 y B3), la clase textural fue homogénea, correspondiendo en todos los casos a un suelo franco arcillo arenoso. Esta textura se caracterizó por un predominio de la fracción arena, cuyos valores oscilaron entre 64 % (B2) y 73 % (B3), acompañados de contenidos moderados de arcilla (21–24 %) y bajos porcentajes de limo (6–12 %). Estas características texturales sugieren suelos con buena aireación, drenaje adecuado y capacidad intermedia de retención de humedad, condiciones favorables para el desarrollo radicular del bambú.

En cuanto a la conductividad eléctrica (CE), los valores registrados fueron bajos en los tres bloques, variando entre 0.02 y 0.11 dS/m, lo que indica ausencia de problemas de salinidad en el suelo. El bloque B2 presentó el valor ligeramente superior (0.11 dS/m), aunque dentro del rango considerado no salino, mientras que los bloques B1 y B3 mostraron valores muy bajos (0.02 y 0.03 dS/m, respectivamente). En conjunto, estos resultados evidencian que los suelos del área de estudio presentan condiciones físicas y químicas estables, sin limitaciones asociadas a textura o salinidad para el crecimiento de *Dendrocalamus asper*.

Tabla 9. Textura y conductibilidad eléctrica del suelo

Bloque	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	Clase textural	CE (dS/m, 1:1)
B1	68	22	10	Franco arcillo arenoso	0.02
B2	64	24	12	Franco arcillo arenoso	0.11
B3	73	21	6	Franco arcillo arenoso	0.03

La textura franco arcillo arenosa registrada en los tres bloques del presente estudio, con contenidos de arena entre 64 y 73 %, arcilla entre 21 y 24 % y limo entre 6 y 12 %, coincide con lo reportado por Acuña (2023) en suelos asociados a *Guadua angustifolia* en el BRUNAS, donde se identificaron texturas franco arenosas y franco arcillo arenosas, consideradas favorables para el desarrollo del bambú. De manera similar, Garay (2024) reportó suelos de textura franca en parcelas forestales del mismo bosque reservado, destacando que estas condiciones permiten una adecuada aireación y penetración radicular. No obstante, los valores de arena observados en el bloque B3 del presente estudio (73 %) resultan ligeramente superiores a los reportados por Garay (2024), lo que podría indicar una mayor capacidad de drenaje y menor retención de humedad en dicho bloque.

En contraste, Koicheoski (2022) y Fernández (2024) reportaron texturas que variaron entre franco y franco limoso en sistemas de uso agrícola y forestal, con proporciones de limo superiores a las encontradas en este estudio. Estas diferencias sugieren que los suelos bajo plantaciones de bambú, especialmente en áreas de bosque reservado, tienden a mantener una mayor proporción de arena, lo cual puede atribuirse tanto al material parental como al efecto del sistema radicular del bambú sobre la estructura del suelo. Asimismo, Rodríguez Caballero (2024) encontró texturas franco arcillo arenosas en áreas degradadas por minería, indicando que este tipo textural es frecuente en suelos tropicales intervenidos o en proceso de recuperación, aunque en su caso con mayores restricciones físicas.

Respecto a la conductividad eléctrica, los valores obtenidos en este estudio (0.02–0.11 dS/m) indican suelos no salinos, resultado que concuerda plenamente con los reportes de Tocto (2025), quien encontró valores de CE entre 0.04 y 0.09 dS/m en plantaciones de *Guadua angustifolia* de diferentes edades en Tulumayo. De forma concordante, Calderón et al. (2018) y Trillo et al. (2023) también reportaron conductividades eléctricas bajas en suelos forestales y sistemas agroforestales, asociándolas a una baja concentración de sales

solubles y a condiciones químicas estables del suelo. Sin embargo, el valor ligeramente mayor registrado en el bloque B2 (0.11 dS/m) podría estar relacionado con una mayor acumulación temporal de sales provenientes de la descomposición de la hojarasca o del reciclaje de nutrientes, aunque sin representar una limitación para el crecimiento vegetal.

En conjunto, las similitudes observadas entre los resultados del presente estudio y los antecedentes revisados indican que los suelos asociados a plantaciones de bambú presentan texturas estables y conductividades eléctricas bajas, lo que favorece procesos de infiltración, aireación y disponibilidad de nutrientes. Las diferencias encontradas entre bloques y respecto a otros estudios pueden atribuirse a factores como el material parental, la historia de uso del suelo, la edad de la plantación, y la dinámica de aporte de residuos orgánicos, confirmando el papel del bambú como especie que se adapta a suelos de baja salinidad y contribuye a la estabilidad física del suelo.

4.2.3. Propiedades químicas del suelo

Los resultados de las propiedades químicas del suelo muestran que los tres bloques evaluados presentan condiciones ácidas, con valores de pH comprendidos entre 4.51 y 4.74. El bloque B1 registró el pH más alto (4.74), mientras que el bloque B3 presentó el valor más bajo (4.51), lo que clasifica a los suelos como fuertemente ácidos. Esta acidez puede influir en la disponibilidad de nutrientes, particularmente fósforo y bases intercambiables, característica típica de suelos tropicales húmedos.

El contenido de materia orgánica varió entre 1.73 % y 2.40 %, observándose un incremento progresivo desde el bloque B1 hacia el bloque B3. El mayor valor se registró en el bloque B3 (2.40 %), seguido del bloque B2 (2.21 %), mientras que el bloque B1 presentó el menor contenido (1.73 %). Este comportamiento sugiere diferencias en el aporte y acumulación de residuos orgánicos, posiblemente asociadas a la dinámica de la hojarasca y a condiciones microambientales propias de cada bloque.

En cuanto al nitrógeno total, los valores fueron bajos, oscilando entre 0.09 % y 0.12 %, con un patrón similar al de la materia orgánica. El bloque B3 mostró el mayor contenido (0.12 %), lo que confirma la estrecha relación entre ambos parámetros. El fósforo disponible presentó valores bajos en todos los bloques, variando entre 4.27 y 5.21 ppm, siendo ligeramente superior en el bloque B3 (5.21 ppm), lo que refleja una limitada disponibilidad de este nutriente en suelos ácidos.

Por su parte, el potasio disponible (K_2O) mostró valores relativamente más altos en comparación con los demás nutrientes, con un máximo en el bloque B1 (110.11 ppm) y valores menores en los bloques B2 (68.62 ppm) y B3 (66.88 ppm). Este comportamiento sugiere una adecuada disponibilidad de potasio, probablemente influenciada por el material parental y el reciclaje de nutrientes a través de la biomasa del bambú.

En conjunto, las propiedades químicas del suelo evidencian suelos ácidos, con contenidos bajos a moderados de materia orgánica y nitrógeno, fósforo limitado y potasio relativamente disponible, condiciones que caracterizan suelos de fertilidad natural baja a media, compatibles con el desarrollo de *Dendrocalamus asper* en ambientes de bosque reservado (Tabla 12).

Tabla 10. Propiedades químicas del suelo

Bloque	pH (1:1)	Materia		P disponible (ppm)	K_2O disponible (ppm)
		orgánica (%)	N total (%)		
B1	4.74	1.73	0.09	4.27	110.11
B2	4.55	2.21	0.11	4.51	68.62
B3	4.51	2.4	0.12	5.21	66.88

Los valores de pH ácido (4.51–4.74) registrados en los tres bloques del presente estudio concuerdan con lo reportado por Acuña (2023) en suelos asociados a *Guadua angustifolia* en el BRUNAS, donde se obtuvo un pH promedio de 4.20, clasificado como extremadamente ácido. De manera similar, Garay (2024) encontró pH fuertemente ácido en subparcelas forestales del mismo bosque reservado (promedio 4.37), lo que confirma que la acidez constituye una condición edáfica dominante en estos ecosistemas. No obstante, los valores observados en este estudio resultan ligeramente superiores, lo que podría indicar una moderada mejora química del suelo asociada al establecimiento y manejo del bambú.

En relación con la materia orgánica, los valores obtenidos (1.73–2.40 %) fueron comparables a los reportados por Tocto (2025) durante la primera evaluación en plantaciones de *G. angustifolia* (1.05–1.38 %), aunque inferiores a los alcanzados en evaluaciones posteriores (2.61–2.99 %). Asimismo, Fernández (2024) registró valores menores de materia orgánica en sistemas agroforestales y bosque primario (≈ 1.25 %), mientras que Garay (2024) reportó contenidos más elevados en el BRUNAS (promedio 3.14 %). Estas

discrepancias sugieren que el contenido de materia orgánica está fuertemente influenciado por la edad de la plantación, la dinámica de la hojarasca y el historial de uso del suelo, siendo esperable un incremento progresivo conforme se acumula biomasa vegetal.

El nitrógeno total, con valores bajos (0.09–0.12 %), mostró un patrón consistente con los contenidos de materia orgánica, lo que concuerda con lo observado por Acuña (2023) y Koicheoski (2022), quienes reportaron niveles de N entre 0.05 y 0.09 % en suelos forestales y agrícolas de la región. De forma concordante, Tocto (2025) evidenció incrementos de nitrógeno asociados al aumento de la materia orgánica en plantaciones de bambú, lo que sugiere que este nutriente responde directamente a los procesos de incorporación y mineralización de residuos orgánicos.

Respecto al fósforo disponible, los valores obtenidos en este estudio (4.27–5.21 ppm) se encuentran dentro del rango bajo, coincidiendo con los resultados de Acuña (2023) y Garay (2024), quienes reportaron contenidos promedio de 4.39–4.59 ppm y 2.35 ppm, respectivamente. Sin embargo, estos valores son inferiores a los reportados por Fernández (2024) en sistemas agroforestales (\approx 24.68 ppm) y por Tocto (2025) en parcelas específicas con incrementos notables de fósforo. Estas diferencias podrían atribuirse a la acidez del suelo, que favorece la fijación del fósforo por aluminio y hierro, así como a diferencias en el manejo y aporte externo de nutrientes.

En cuanto al potasio disponible, los contenidos registrados (66.88–110.11 ppm) fueron relativamente altos en comparación con otros nutrientes, resultado que coincide con lo reportado por Acuña (2023) y Koicheoski (2022), quienes observaron valores elevados de K en suelos forestales y sistemas agrícolas de la zona. De manera similar, Tocto (2025) y Trillo et al. (2023) destacaron que el potasio suele mantenerse disponible en suelos con bambú, debido al eficiente reciclaje de nutrientes a través de la biomasa aérea y subterránea.

En conjunto, las similitudes observadas entre los resultados del presente estudio y los antecedentes revisados indican que los suelos asociados a plantaciones de bambú presentan acidez persistente, fósforo limitado y contenidos variables de materia orgánica y nitrógeno, mientras que el potasio tiende a mantenerse disponible. Las diferencias encontradas entre bloques y entre estudios pueden atribuirse principalmente a la edad de la plantación, el material parental, el historial de uso del suelo y la dinámica de aportes orgánicos, lo que resalta el papel del bambú como una especie capaz de adaptarse a suelos de baja fertilidad y contribuir gradualmente a la mejora de sus propiedades químicas.

Los resultados de los cationes cambiabiles del suelo muestran diferencias en la composición química entre los bloques evaluados. El calcio (Ca^{2+}) presentó valores relativamente homogéneos, con promedios que variaron entre 3.41 y 3.89 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$, siendo el bloque B2 el que registró el mayor contenido (3.89 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$), mientras que el bloque B1 presentó el menor valor. Estos niveles indican una presencia moderada de calcio en el suelo, nutriente fundamental para la estructura y estabilidad de los agregados (**Tabla 11**).

Tabla 11. Cationes cambiabiles del suelo por bloque ($\text{cmol}(+)/\text{kg}$)

Bloque	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	Al^{3+}	H^+
B1	3.41	0.53	0.29	0.06	4.72	0.68
B2	3.89	0.66	0.23	0.06	2.48	0.37
B3	3.68	0.65	0.22	0.07	5.62	0.63

El magnesio (Mg^{2+}) mostró valores consistentes entre bloques, con promedios de 0.53 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$ en B1, 0.66 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$ en B2 y 0.65 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$ en B3, lo que evidencia una disponibilidad relativamente uniforme de este nutriente esencial para la fotosíntesis. De forma similar, el potasio intercambiable (K^+) presentó contenidos bajos a moderados, oscilando entre 0.22 y 0.29 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$, con el valor más alto en el bloque B1.

El sodio (Na^+) registró valores bajos y estables en los tres bloques (0.06–0.07 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$), lo que indica ausencia de problemas de sodicidad y condiciones químicas favorables del suelo. En contraste, el aluminio intercambiable (Al^{3+}) mostró valores elevados, particularmente en los bloques B1 (4.72 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$) y B3 (5.62 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$), mientras que el bloque B2 presentó un contenido considerablemente menor (2.48 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$). Este comportamiento es consistente con la acidez observada en el suelo y sugiere una mayor saturación de aluminio en los bloques B1 y B3.

Finalmente, el hidrógeno intercambiable (H^+) presentó valores entre 0.37 y 0.68 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$, siendo mayor en el bloque B1. En conjunto, la presencia de Al^{3+} y H^+ confirma la condición de suelos ácidos, con una capacidad limitada de intercambio catiónico dominada por cationes ácidos, especialmente en los bloques B1 y B3 (**Tabla 11**).

Los resultados del presente estudio evidencian una dominancia de cationes ácidos (Al^{3+} y H^+) sobre las bases intercambiables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+), lo cual es característico de suelos tropicales húmedos fuertemente ácidos, y concuerda con lo reportado

en investigaciones previas desarrolladas en sistemas forestales y agroforestales de la Amazonía y regiones tropicales andinas.

Los contenidos de calcio intercambiable (Ca^{2+}) observados se sitúan dentro del rango típico de suelos ácidos bajo cobertura forestal. Resultados similares fueron reportados por Calderón et al. (2018) en la terraza alta del Meta, donde el aluminio intercambiable fue elevado (1.49–2.01 cmol(+)/kg) y la CICE fue baja a moderada (≈ 5.13 cmol(+)/kg), reflejando una limitada saturación de bases. De manera concordante, Garay (2024) registró valores promedio de $\text{Ca} = 1.32$ cmol(+)/kg en suelos del BRUNAS, indicando baja fertilidad y reducida capacidad de retención de nutrientes, situación comparable a la observada en el presente estudio. El magnesio intercambiable (Mg^{2+}) presentó valores bajos y poco variables, lo que coincide con lo reportado por Garay (2024), quien encontró un promedio de 0.21 cmol(+)/kg, y por Rodríguez (2024), donde el Mg fue bajo en suelos bajo *Polylepis incana* y *Buddleja coriácea*, sin diferencias significativas entre profundidades. Esta baja disponibilidad de Mg es común en suelos altamente meteorizados y ácidos, donde la lixiviación limita la acumulación de cationes básicos.

En cuanto al potasio intercambiable (K^+), los valores obtenidos se consideran bajos a moderados, coherentes con lo reportado por Acuña (2023), quien encontró contenidos de 81.50–151.93 kg K_2O /ha en suelos asociados a *Guadua angustifolia*, y por Koicheoski (2022), donde el K disponible varió entre 43.30 y 70.97 ppm según el sistema de uso del suelo. Asimismo, Tocto (2025) reportó valores de K_2O entre 42.35 y 119.59 mg/kg, evidenciando que, aunque el potasio suele mantenerse disponible, su distribución es altamente variable y dependiente del reciclaje de nutrientes vía hojarasca y actividad biológica.

El sodio intercambiable (Na^+) mostró contenidos muy bajos, lo cual concuerda con lo reportado por Tocto (2025), Acuña (2023) y Garay (2024), quienes señalaron concentraciones reducidas de Na en suelos forestales, indicando ausencia de procesos de sodificación y condiciones químicas favorables para el desarrollo vegetal. Por otro lado, los altos valores de aluminio intercambiable (Al^{3+}) constituyen uno de los rasgos más relevantes del sistema edáfico evaluado. Esta condición coincide plenamente con lo reportado por Calderón et al. (2018), quienes identificaron aluminio intercambiable elevado (1.49–2.01 cmol(+)/kg) asociado a pH ácido (~ 5.02 – 5.30). De forma similar, Acuña (2023) registró un pH promedio de 4.20, clasificado como extremadamente ácido, condición que favorece la solubilización del Al^{3+} y restringe la disponibilidad de fósforo y bases intercambiables.

Los valores de hidrógeno intercambiable (H^+) refuerzan esta condición de acidez edáfica, coherente con los pH reportados en el presente estudio y con los antecedentes. Garay (2024) reportó un pH promedio de 4.37, mientras que Koicheoski (2022) encontró valores entre 4.00 y 4.93, y Trillo et al. (2023) documentaron un incremento progresivo del pH de 4.76 a 5.40 tras el establecimiento de *Guadua angustifolia* en suelos degradados, evidenciando que el bambú puede contribuir gradualmente a mejorar la acidez, aunque sin eliminar completamente la dominancia de cationes ácidos.

En conjunto, la baja saturación de bases, la presencia elevada de Al^{3+} y la limitada capacidad de intercambio catiónico observadas en este estudio son consistentes con lo reportado en ecosistemas forestales tropicales y plantaciones de bambú. Estos resultados confirman que, si bien especies como *Guadua angustifolia* y otros bambúes muestran alta adaptación a suelos ácidos y de baja fertilidad, las condiciones químicas del suelo continúan siendo un factor limitante para la disponibilidad de nutrientes, especialmente calcio, magnesio y fósforo.

4.3. Relacionar el carbono orgánico del suelo con las propiedades física y químicas del suelo de una plantación de *Dendrocalamus asper*

El carbono orgánico del suelo mostró una correlación positiva fuerte y altamente significativa con la densidad aparente ($\rho = 0.763$; $p < 0.001$), indicando que, en la plantación de *Dendrocalamus asper*, los mayores contenidos de carbono se asocian con incrementos en la densidad del suelo, posiblemente vinculados a procesos de compactación moderada y acumulación de biomasa radicular. En cuanto a la textura, el carbono presentó una correlación positiva débil con el contenido de arena ($\rho = 0.334$; $p = 0.047$) y correlaciones negativas débiles con limo ($\rho = -0.366$; $p = 0.028$) y arcilla ($\rho = -0.336$; $p = 0.045$), lo que sugiere que los suelos más arenosos favorecen una mayor acumulación de carbono orgánico, mientras que el incremento de fracciones finas se asocia con menores valores de carbono en el suelo.

Por el contrario, no se evidenció relación significativa entre el carbono orgánico y las propiedades químicas evaluadas, como pH ($\rho = 0.240$; $p = 0.159$), materia orgánica ($\rho = 0.033$; $p = 0.849$), nitrógeno total ($\rho = -0.019$; $p = 0.912$), fósforo disponible ($\rho = -0.025$; $p = 0.885$) y K_2O disponible ($\rho = 0.282$; $p = 0.096$). Estos resultados indican que, bajo las condiciones de la plantación evaluada, la variabilidad del carbono orgánico del suelo

está principalmente asociada a propiedades físicas, especialmente a la densidad aparente y a la fracción textural, más que a los indicadores químicos del suelo (**Tabla 14**).

Tabla 12. Correlación de Spearman entre el carbono orgánico del suelo y propiedades físicas y químicas

Variable	ρ de Spearman	p-valor
Densidad aparente (g/cm ³)	0.763	< 0.001
Arena (%)	0.334	0.047
Limo (%)	-0.366	0.028
Arcilla (%)	-0.336	0.045
pH (1:1)	0.24	0.159
Materia orgánica (%)	0.033	0.849
N total (%)	-0.019	0.912
P disponible (ppm)	-0.025	0.885
K ₂ O disponible (ppm)	0.282	0.096

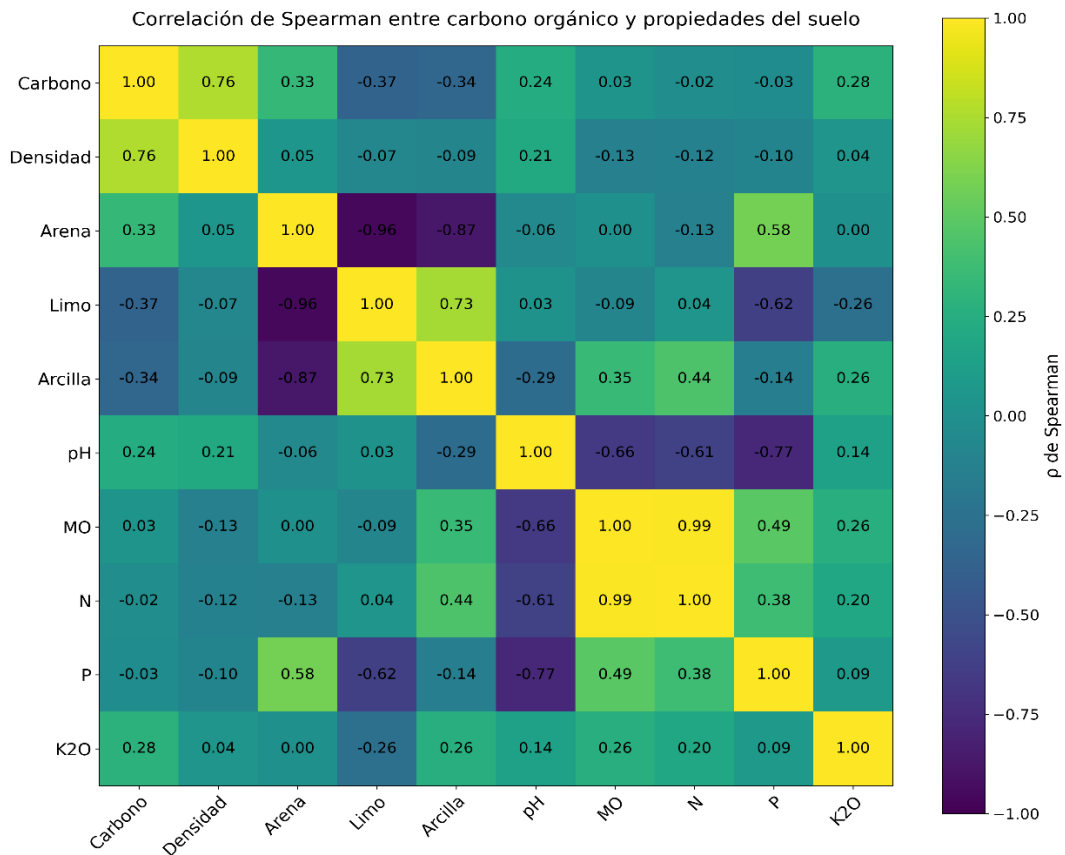


Figura 7. Corplot de correlación de Spearman del carbono orgánico y las propiedades físicas y químicas

En la plantación de *Dendrocalamus asper*, el carbono orgánico del suelo (COS) se relacionó principalmente con variables físicas, destacando una correlación positiva fuerte con la densidad aparente ($\rho = 0.763$; $p < 0.001$). Este patrón sugiere que, en el área evaluada, los sitios con mayor COS también presentan mayor densidad, lo cual puede interpretarse como un efecto combinado entre compactación moderada, aporte de raíces finas y acumulación de carbono asociado a microagregados. Este comportamiento contrasta con lo reportado en varios ecosistemas forestales donde la mayor densidad aparente suele asociarse a menor porosidad y menor acumulación de carbono; por ejemplo, Andrade et al. (2016) reportaron densidades mayores en matrices agrícolas ($\approx 1.7 \text{ g/cm}^3$) frente al bosque ($\approx 1.0 \text{ g/cm}^3$), mientras que el COS no varió significativamente entre posiciones, evidenciando que la relación DA–COS depende fuertemente del tipo de sistema y del manejo. De modo similar, Pineda et al. (2018) encontraron que el bosque mesófilo presentó mayores porcentajes de carbono, y el huerto cítrico la mayor densidad aparente, reflejando que densidad y COS no siempre aumentan de forma conjunta. En tu caso, el aumento simultáneo de densidad y COS podría estar indicando que el COS está asociado a fracciones más estabilizadas del suelo (p. ej., carbono protegido dentro de agregados), más que a una condición de suelo suelto con alta porosidad.

Respecto a la textura, el COS mostró una correlación positiva débil con arena ($\rho = 0.334$; $p = 0.047$) y correlaciones negativas débiles con limo ($\rho = -0.366$; $p = 0.028$) y arcilla ($\rho = -0.336$; $p = 0.045$). Estos resultados indican que, dentro del rango textural evaluado, el carbono aumentó en condiciones relativamente más arenosas y disminuyó cuando se incrementaron las fracciones finas. Este hallazgo puede explicarse porque suelos más arenosos favorecen mayor aireación y drenaje, lo que incrementa el desarrollo radicular y el recambio de residuos orgánicos (aporte de hojarasca y raíces), aunque también podrían acelerar la mineralización. En esa línea, Acuña (2023) reportó que *Guadua angustifolia* se desarrolla sobre texturas arenosas a franco arcillo arenosas en el BRUNAS, con suelos ácidos y de baja fertilidad, lo cual coincide con tu tendencia textural y confirma que los bambúes pueden establecerse y mantener aportes orgánicos incluso en suelos de textura relativamente gruesa. Asimismo, Trillo et al. (2023) mostraron que en suelos degradados por minería, las texturas evolucionaron hacia más arenosas por pérdida de limo, evidenciando deterioro físico; aun así, el bambú logró establecerse, lo que refuerza que estos sistemas pueden sostener aportes orgánicos aún bajo limitaciones texturales.

En contraste, no se detectó relación significativa del COS con las variables químicas evaluadas: pH ($p = 0.159$), MO% ($p = 0.849$), N ($p = 0.912$), P ($p = 0.885$) y K_2O ($p = 0.096$). Esto sugiere que la variabilidad del COS, en el contexto de esta plantación, está más vinculada a la heterogeneidad física (compactación y textura) que a cambios químicos del suelo. Esta falta de asociación también puede deberse a que tus datos químicos presentan rangos relativamente estrechos por bloque, lo que reduce la capacidad estadística para detectar relaciones. En otros estudios, sí se ha observado que con el tiempo el bambú puede mejorar variables químicas asociadas al carbono. Tocto (2025) reportó incrementos claros en MO, N y carbono entre evaluaciones en plantaciones de *G. angustifolia*, junto con pH ligeramente ácido y CE baja, mostrando que la dinámica temporal del sistema puede ser clave para evidenciar relaciones COS–fertilidad. De igual forma, Trillo et al. (2023) reportaron mejora progresiva del pH y aumento de MO en un suelo degradado, aunque en valores bajos, confirmando que el bambú puede modificar gradualmente el suelo en procesos de restauración.

Comparando tus magnitudes de carbono ($\approx 26\text{--}57$ t/ha), tus valores se ubican dentro de rangos intermedios a altos frente a sistemas regionales. Santos (2023) reportó mayores valores de carbono en SAF con cacao (≈ 26 t/ha) frente a otros usos, mientras que Ortiz (2024) encontró valores superiores en zonas topográficas altas (≈ 56 t/ha), muy cercanos a tu máximo. Esto sugiere que tu plantación presenta una capacidad importante de almacenamiento de COS comparable a otros sistemas con cobertura arbórea o agroforestal. A escala más amplia, Galicia et al. (2016) y Morales et al. (2020) enfatizan que el suelo concentra una fracción relevante del carbono de los ecosistemas y que una alta proporción se acumula en capas superficiales ($\approx 70\%$ en los primeros 20 cm); por ello, la distribución vertical del carbono y su relación con densidad y textura debe interpretarse considerando la dinámica de aportes superficiales (hojarasca) y subterráneos (raíces finas).

En conjunto, tus resultados indican que, bajo *D. asper*, el COS se explica mejor por condiciones físicas del suelo, particularmente densidad aparente y textura, mientras que las propiedades químicas no muestran relación directa a escala espacial del muestreo. Esto coincide con evidencias regionales donde la variación del carbono depende del uso del suelo, cobertura, aporte de residuos y condiciones físicas (Díaz et al., 2016; Burga, 2019), y sugiere que, para entender mejor la dinámica COS–fertilidad en bambú, sería recomendable incorporar análisis complementarios como CIC, bases intercambiables y aluminio, además de separar por profundidad y evaluar cambios temporales, tal como lo evidencian Tocto (2025) y Calderón et al. (2018).

V. CONCLUSION

1. El carbono orgánico del suelo (t/ha) en la plantación de *Dendrocalamus asper* varió con la profundidad, registrándose los mayores valores en el estrato 0–10 cm (16.39 t/ha), seguido por 10–20 cm (13.48 t/ha) y 20–30 cm (10.96 t/ha), lo que evidencia una disminución progresiva del carbono orgánico en el perfil del suelo. En cambio, el contenido de carbono orgánico fue similar entre las posiciones de muestreo, con 13.92 t/ha en Planta y 13.79 t/ha en Entre plantas, así como entre los bloques, cuyos valores oscilaron entre 12.93 y 13.90 t/ha.
2. Las propiedades físicas y químicas del suelo de la plantación de *Dendrocalamus asper* evidenciaron una textura franco arcillo arenosa en todos los bloques, con baja conductividad eléctrica (0.02–0.11 dS/m), indicando ausencia de salinidad. La densidad aparente fue baja a moderada (0.70–0.84 g/cm³) y aumentó con la profundidad, reflejando mayor compactación en los estratos subsuperficiales. El suelo presentó pH fuertemente ácido (4.51–4.74), materia orgánica baja a moderada (1.73–2.40 %) y nitrógeno total bajo (0.09–0.12 %). El fósforo disponible fue bajo (4.27–5.21 ppm) y el potasio moderado (66.88–110.11 ppm).
3. En la plantación de *Dendrocalamus asper*, el carbono orgánico del suelo se relacionó principalmente con variables físicas. La correlación de Spearman mostró una asociación positiva fuerte y significativa con la densidad aparente ($\rho = 0.763$; $p < 0.001$), indicando que a mayores valores de carbono también aumentó la densidad. Además, el carbono presentó correlaciones débiles pero significativas con la textura: positiva con arena ($\rho = 0.334$; $p = 0.047$) y negativas con limo ($\rho = -0.366$; $p = 0.028$) y arcilla ($\rho = -0.336$; $p = 0.045$). En cambio, no se evidenció relación significativa del carbono con pH, materia orgánica, N, P y K₂O ($p > 0.05$).

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Realizar evaluaciones periódicas del carbono orgánico del suelo y de las propiedades fisicoquímicas en distintos años o estaciones, con el fin de analizar la dinámica temporal del carbono y los efectos acumulativos de la plantación de *Dendrocalamus asper* sobre la calidad del suelo.
2. Se sugiere complementar el análisis con variables biológicas como macrofauna edáfica, actividad microbiana, respiración del suelo o biomasa microbiana, a fin de comprender de manera integral los procesos de estabilización y mineralización del carbono orgánico.
3. Para fortalecer la interpretación de los resultados, se recomienda evaluar el carbono orgánico del suelo en sistemas de referencia (bosque secundario, cultivo agrícola o sistema agroforestal), lo que permitiría cuantificar con mayor precisión el aporte del bambú al secuestro de carbono.
4. Futuras investigaciones deberían incluir profundidades mayores a 30 cm, considerando que una fracción importante del carbono orgánico puede almacenarse en horizontes subsuperficiales, especialmente en sistemas forestales y de bambú.

VII. REFERENCIAS

- Acuña Sobrados, M. M. (2023). Características físicas y químicas de los suelos asociados con el desarrollo de *Guadua angustifolia* Kunth “bambú” y sus aportes al almacenamiento de carbono [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/5d850d7a-c3c7-4bcb-bc55-9dfc567d07cc/content>
- Aguilar Arias, H. (2011). Biomasa sobre el suelo y carbono orgánico en el suelo en cuatro estadios de sucesión de bosques en la Península de Osa, Costa Rica [Tesis de licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/360>
- Alegría Ortega, G. J. (2025). Almacenamiento de carbono en el suelo en tres sistemas de uso en el distrito Padre Felipe Luyando, región Huánuco [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/3d0708f9-cfd6-4846-8751-6f5443aa108b/content>
- Alejandro, D., & Vargas, O. (2011). Modelación geoestadística del contenido de carbono orgánico del suelo entre las regiones de Valparaíso y de los Ríos, Chile. Universidad de Chile.
- Andrade-Castañeda, H. J., Segura-Madrigal, M. A., & Rojas-Patiño, A. S. (2016). Carbono orgánico del suelo en bosques riparios, arrozales y pasturas en Piedras, Tolima, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 27(2), 233–241.
- Añazco, M., y Rojas, S. (2015). Estudio de la cadena desde la producción al consumo del bambú en Ecuador con énfasis en la especie *Guadua angustifolia*. Quito, Ecuador: International Network for Bamboo and Rattan (INBAR).
- Barbera, V., Poma, I., Gristina, L., Novara, A., & Egli, M. (2012). Long-term cropping systems and tillage management effects on soil organic carbon stock and steady state level of C sequestration rates in a semiarid environment. *Land Degradation & Development*, 23, 82–91.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2000). *Elements of the nature and properties of soils* (12th ed.). Prentice-Hall.

- Burga Díaz, E. A. (2019). Determinación del carbono en el suelo del bosque del caserío La Palma, Chadín, Chota [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio UNC <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3543>
- 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), 155–164.
- Camargo Pun, A. P. (2018). Distribución de carbono orgánico con la profundidad del suelo en el bosque de aliso (*Alnus acuminata*), Cullpa, Huancayo, 2017 [Tesis de pregrado, Universidad Continental].
- Cevallos Chávez, O. I., & Segovia Soto, A. E. (2024). Variación altitudinal del carbono orgánico del suelo en bosques nativos de la cuenca del río Chancay, 2023 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de Chota].
- Chávez, J. (2018). Captura y almacenamiento de carbono de los bosques estacionalmente secos de la costa norte (Lambayeque), como mitigación frente al cambio climático [Tesis para obtener título, Universidad Nacional Agraria la Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3346>
- Condor Meza, J. J. (2019). Carbono orgánico del suelo en diferentes unidades fisiográficas del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS) Tingo María – Perú [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/6bbd06ba-b91f-40cd-8099-906fe39a677a>
- Daza Álvarez, J. E. (2018). Evaluación de indicadores de calidad del suelo y carbono orgánico en dos sistemas de uso de la tierra en el distrito Rupa Rupa – Tingo María [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/169037a6-927a-4aea-bbeb-402d3087a54a>
- De la Rosa, D. (2008). *Evaluación agroecológica de suelos para un desarrollo rural sostenible*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Del Castillo Del Castillo, K. (2024). Carbono almacenado en dos sistemas de uso de suelos guaba (*Inga edulis*) y tornillo (*Cedrelinga cateniformis* Bent.) en el caserío Lota, distrito Mariano Damaso Beraun [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva].

- Díaz, P. D., Ruiz, G. F., Salas, C. T., & López, L. A. (2016). Carbono almacenado en cinco sistemas de uso de tierra en la región San Martín, Perú. *Rinderesu*, 1(2), 1–11. <http://www.rinderesu.com/index.php/rinderesu/article/view/22/06>
- Eswaran, H., Van Den Berg, E., & Reich, P. (1993). Organic carbon in soils of the world. *Soil Science Society of America Journal*, 57, 192-194.
- FAO. (2001). *Soil carbon sequestration for improved land management* (World soil reports 96). Rome: FAO.
- FAO. (2005). *Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal: El significado de la porosidad del suelo* (F. Shaxson & R. Barber, Eds.). FAO.
- FAO. (2015). *La contaminación de los suelos está contaminando nuestro futuro*. Recuperado de <http://www.fao.org/faostories/article/es/c/1126977/>
- Fernández Ríos, E. B. (2024). Propiedades fisicoquímicas y biológicas en tres tipos de sistemas de uso del suelo en el caserío Cajatambo – Uchiza – Tocache – San Martín [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/579d78c1-7fb6-4c1d-bb53-b3205faeb5ff/content>
- Fernández Ríos, E. B. J. (2024). *Propiedades fisicoquímicas y biológicas en tres tipos de sistemas de uso del suelo en el caserío Cajatambo – Uchiza – Tocache – San Martín* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/e94da8e5-b808-4e8f-b916-fbd46d2a83b5>
- FertiLab. (2018). El Color del Suelo como Indicador de su Fertilidad. FertiLab, 1–3. <https://www.google.com/search?q=https://www.fertilab.com.mx/Sitio/Vista/El-Color-del-Suelo-como-Indicador-de-su-Fertilidad.php>
- Fertilab. (s.f.). *Propiedades fisicoquímicas del suelo y el crecimiento de las plantas* [PDF]. Fertilab. <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/NTF-19-012-Propiedades-fisicoquimicas-del-suelo-y-el-crecimiento-de-las-plantas.pdf>
- Gaitán, L. F., Velásquez, E., Gómez, J. D., & Rivera, C. (2015). Carbono orgánico del suelo en bosques riparios, arrozales y pasturas en Piedras, Tolima, Colombia. *Acta Agronómica*, 64(1), 49–56.

- Galicia, L., Gamboa Cáceres, A. M., Cram, S., Chavez Vergara, B., Peña Ramírez, V., Saynes, V., & Siebe, C. (2016). Almacén y dinámica del carbono orgánico del suelo en bosques templados de México. *Terra Latinoamericana*, 34, 1–29.
- Garay Salazar, 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]. Repositorio Institucional UNAS.
<https://repositorio.unas.edu.pe/items/58fc7430-797c-4e0a-9af1-a9637b7e2fb1>
- Giraldo Quintero, L. M. (2021). Potencial para la mitigación del cambio climático de plantaciones de guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) en la región del eje cafetero de Colombia [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de Pereira].
<https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/933568c9-27e1-4f9d-998e-d5abfd27e570/content>
- González, P. G. (2007). *Características y usos del bambú*. *Acción Agraria*, 45, 1-45. Lima, Perú.
- Guhl Nannetti, E. (2022). *Antropoceno: la huella humana: La frágil senda hacia un mundo y una Colombia sostenibles*. Editorial Pontificia Universidad Javeriana.
- Hengl, T. (2007). *A practical guide to geostatistical mapping of environmental variables*. Scientific and Technical Research series. [https://doi.org/10.1016/0277-9390\(86\)90082-8](https://doi.org/10.1016/0277-9390(86)90082-8)
- Hidalgo, O. (2003). *Bamboo: The Gift of the Gods*. Bogotá, Colombia
- Hidalgo, P. (2011). Determinación de las reservas totales de carbono en un sistema agroforestal de la Selva Alta de Tingo María. *Aporte Santiaguina*, 4(1), 87–92.
- Hilda, H. (2010). *Determinación de propiedades físicas y químicas de suelos con mercurio*. Recuperado de <http://www.geociencias.unam.mx/~bole/eboletin/tesisHilda1101.pdf>
- Holdridge, L. (1987). *Ecología basada en zonas de vida*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Jara, E. (2023). Impacto del cambio climático sobre el carbono orgánico del suelo en la microcuenca Cojup-Ancash, entre el periodo 2021 - 2099 [Tesis para obtener título,

Universidad Nacional de Trujillo].
<http://repositorio.inaigem.gob.pe/handle/16072021/472>

- Julca-Otiniiano, A., Meneses-Florián, L., Blas-Sevillano, R., & Bello-Amez, S. (2006). La Materia Orgánica, Importancia Y Experiencia De Su Uso En La Agricultura. *Idesia (Arica)*, 24(1), 49–61. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292006000100009>
- Kleiner, K. (2007). The corporate race to cut carbon. *Nature Reports Climate Change*, 3, 40–43.
- Koicheoski Hipólito, R. J. (2022). *Evaluación de la calidad del suelo en cuatro sistemas de uso (cacao, plátano, café y purma) ubicados en el caserío Los Cedros, distrito José Crespo y Castillo* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/5f08fce7-6a4d-4f7e-862f-8b3da13e530b>
- Lal, R. (1997). Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂-enrichment. *Soil and Tillage Research*, 43, 81-107.
- Lal, R., Eckert, D. J., Fausey, N. R., Edwards, W. M. (1990). Conservation tillage in sustainable agriculture. In C. A. Edwards, R. Lal, P. Madden, R. H. Miller, & G. House (Eds.), *Sustainable agriculture systems* (pp. 203-225). Soil and Water Conservation Society.
- León, E. D., & Fausto, C. (1990). *Identificación de productos de AUM en la costa sur de Guatemala* (Informe interno No. CATIE L579id). CATIE. Programa de Producción y Desarrollo Agropecuario Sostenido, Dirección General de Bosques y Vida Silvestre.
- Lituma Fernández, N. F. (2024). *Caracterización física, química y biológica del suelo de dos especies de rodales naturales de bambú en la finca Arrayán y Piedra* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio institucional ESPOCH. <https://dspace.espoch.edu.ec/items/28b244fa-9088-4daf-80f2-058df395fc8b>
- Llorente, M. (2004). *Caracterización física y química de vertisoles del noreste de México sometidos a distintas formas de manejo* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León].
- López Merchán, R. M. (2017). *Valoración de carbono en la necromasa y suelo del Bosque Protector Aguarongo, provincia del Azuay, Ecuador* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14329>

- Morales-Inocente, M. A., Nájera-Luna, J. A., Escobedo-Bretado, M. A., Cruz-Cobos, F., Hernández, F. J., & Vargas-Larreta, B. (2020). Carbono retenido en biomasa y suelo en bosques de El Salto, Durango, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 28(80), 5–13. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67464474001>
- Mueller, T. G., & Pierce, F. J. (2003). Soil carbon maps: Enhancing spatial estimates with simple terrain attributes at multiple scales. *Soil Science Society of America Journal*, 67, 258–267. <https://doi.org/10.2136/sssaj2003.2580>
- Nuñez Solís, J. (2000). *Fundamentos de EDAFOLOGÍA*.
- Ordóñez, J. A. B., & Masera, O. (2001). Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques*, 7, 3-12.
- Ortiz Suarez, D. (2024). Almacenamiento de carbono total de un sistema forestal asociado de *Schizolobium amazonicum* (Pino Chuncho) y *Ladenbergia oblongifolia* (Árbol de la Quina) en Saipai, Pueblo Nuevo [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/1a3f6c89-8598-46d8-a15c-f7053ec55069/content>
- Paredes Armas, B. (2025). Distribución espacial de los parámetros físicos y químicos del suelo por unidades fisiográficas en el fundo Liviac, caserío Río Negro, distrito de Luyando [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/612041bc-dcae-4665-8412-4f450aa7a182/content>
- Pineda, F. M., Hernández, M. I., & Ramírez, A. J. (2018). Contenido de carbono orgánico y densidad aparente en diferentes usos de suelo en el centro de Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(48), 97–117.
- Porta, J., López, M., & Roquero de Laburu, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente* (3ª ed.). Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Quiñones, E. (2022). *Contenido de carbono orgánico del suelo en ecosistemas forestales y sistemas agroforestales* [Tesis de maestría, Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas]. <http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/4909>
- Reicosky, D. C. (2002). Long-term effect of moldboard plowing on tillage-induced CO₂ loss.

In J. M. Kimble, R. Lal, & R. F. Follett (Eds.), *Agricultural practices and policies for carbon sequestration in soil* (pp. 87-96). Lewis Publishers.

Ríos, M., Ruiz Dáguer, M., Maduro Rojas, R., & García, H. (2015). Estudio exploratorio de las propiedades físicas de suelos y su relación con los deslizamientos superficiales: Cuenca del río maracay, estado Aragua-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 51(2), 225–247.

Rodríguez Caballero, D. G. (2024). *Propiedades físico-químicas del suelo bajo plantaciones forestales nativas en áreas degradadas por la minería no metálica, Chongos Alto-Huancayo* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP.
<https://repositorio.uncp.edu.pe/items/0eba314a-8d71-4d91-93fa-983e3724ef25>

Rodríguez Martín, J. A., Álvaro-Fuentes, J., Gonzalo, J., Gil, C., Ramos-Miras, J. J., Grau Corbí, J. M., & Boluda, R. (2016). Assessment of the soil organic carbon stock in Spain. *Geoderma*, 264, 117–125. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.10.010>

Rojas, J., & Peña, S. (2018). Densidad Aparente Comparacion de métodos de determinación en ensayo de rotaciones en siembre directa. *I*, 1(1), 3. www.inta.gov.ar/saenzpe

Romaniuk, R. I., Veneces, M., Cosentino, V. R. N., Álvarez, C. R., Ciarlo, E. A., Rimski Korsakov, H., Steinbach, H. S., & Lupia, A. M. (2021). Dinámica del carbono lábil del suelo en sistemas forestales de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden en la Mesopotamia Argentina. *Bosque*, 42(3), 343–351.

Rügnitz, M. T.; Chacón, M. L.; & Porro R. (2009), *Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales -- I. ed. --* Lima, Perú.: Centro Mundial Agroflorestral (ICRAF) / Consórcio Iniciativa Amazônica (IA). 79 p.

Santos Peña, M. N. (2023). Carbono almacenado en tres sistemas de uso del suelo en el distrito de Uchiza - San Martín [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/4a03e814-0e3d-4c2c-be35-2e4346dc36c8/content>

Soler, P. (2017). *Uso del bambú en la arquitectura contemporánea* [Tesis de pregrado, Universitat Politècnica de València]

Sparling, G. P., Wheeler, D., Vesely, E.-T., & Schipper, L. A. (2006). What is soil organic

matter worth? *Journal of Environmental Quality*, 35(2), 548.
<https://doi.org/10.2134/jeq2005.0230>

Thompson, J. A., Pena-Yewtukhiw, E. M., & Grove, J. H. (2006). Soil-landscape modeling across a physiographic region: Topographic patterns and model transportability. *Geoderma*, 133(1–2), 57–70. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.03.037>

Tocto Peña, M. L. (2025). *Relación de la macrofauna con las propiedades físicas y químicas del suelo en plantaciones de Guadua angustifolia Kunth de tres edades, Tulumayo, Pueblo Nuevo, Huánuco, Perú* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/dc54ca3c-8cd6-4609-bf36-aa31f068dbf5>

Trillo Mendoza, Y. A., Paucar Cárdenas, S. R., & Jácome Estrella, P. F. (2023). *Adaptabilidad del bambú e influencia en las propiedades físicas y químicas en suelos degradados por minería aurífera en la comunidad nativa Puerto Luz, Madre de Dios, Perú*. INBAR. Documento de trabajo.

Trillo, Y., Paucar, S., & Jácome, P. (2023). Adaptabilidad del bambú e influencia en las propiedades físicas y químicas en suelos degradados por minería aurífera en la comunidad nativa Puerto Luz, Madre de Dios, Perú. INBAR Documento de Trabajo. <https://amarakaeri.org/wp-content/uploads/2025/04/Adaptabilidad-de-tres-especies-de-bambu-en-suelo-degradado-por-mineria-aurifera-Peru.pdf>

UNAS (Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María). (2017). *Informe de datos meteorológicos de precipitaciones*. Gabinete de Meteorología y Climatología. Tingo María, Perú: UNAS. 1 p.

USDA. (2014). *Kellogg Soil Survey Laboratory methods manual*. USDA.

Vargas-Larreta, B., Amezcua Rojas, M., López-Martínez, J. O., Cueto-Wong, J. A., Cruz-Cobos, F., Nájera-Luna, J. A., & Aguirre-Calderón, C. G. (2023). Estimación de los almacenes de carbono orgánico en el suelo en tres tipos de bosque templado en Durango, México. *Botanical Sciences*, 101(1), 90-101.

Vela Correa, G., López Blanco, J., & Rodríguez Gamiño, M. de L. (2012). Niveles de carbono orgánico total en el Suelo de Conservación del Distrito Federal, centro de México. *Investigaciones Geográficas*, 77, 18–30.

- Velásquez, E., Lavelle, P. (2019). Soil macrofauna as an indicator for evaluating soil based ecosystem services in agricultural landscapes. *Acta Oecologica; Elsevier B.V.* <https://doi.org/10.1016/j.actao.2019.103446>.
- Zanabria, R., & Cuellar, J. (2015). Carbono total almacenado en los depósitos de diferentes sistemas de uso de tierra del ecosistema alto andino, valle del Mantaro, Junín. *Xilema*, 28, 1–10. <https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/xiu/article/view/597/580>
- Zarate Bustamante, J. F. (2022). Evaluación del contenido de carbono orgánico en el suelo del Bosque Nativo Llangodén de Chota, Cajamarca [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://repositorio.unach.edu.pe/server/api/core/bitstreams/1e96dda5-609a-47f0-ac16-4f46e7432c2b/content>
- Zavala, W. (1999). *Estudio morfoedológico como base para la recuperación de suelos degradados en Tingo María* [Tesis de Magíster Scientiae en Suelos, Universidad Nacional Agraria La Molina].

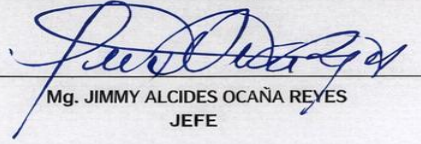
ANEXO


Anexo 1. Anlisis quimico del suelo

SOLICITANTE:		VELIA JIMENEZ JORGGÉ GUISEPPE										FECHA DE REPORTE:		12/11/2025								
PROCEDENCIA:		UNAS - RUPA RUPA - LEONCIO PRADO - HUANÚCO										RECIBO N°:		145349436								
REFERENCIA:		CULTIVO - BAMBÚ										MUESTREADO POR:		EL SOLICITANTE								
RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO																						
DATOS		ANALISIS FISICO						ANALISIS QUÍMICO														
		Arcilla	Arcilla	Limo	Clase Textural	CE	pH	Mayoría Orgánico	N	C	P	K ₂ O	CIC	Ca	Mg	K	Na	Al	H	CICe	Bases Cambiables	Saturación Bases
		Ac	Are	Lo		EBIm		M.O.	Erea	Orgenico	disponible	Calcio		Magnesius	Potasio	Sodio	Aluminio	Hidrogeno	%		%	
COTIZA O LABORATORIO	LABORANCIA	%	%	%	1:1	1:1	%	%	%	ppm	ppm		CAMBIABLES Cmol(+)/kg							%	%	
S25-1338	B1-F1-AQ	63	24	13	Franco Arcillo Arenoso	0.02	4.69	1.08	1.15	1.15	4.08	126.77	----	3.68	0.48	0.41	0.060	4.90	0.63	10.16	45.61	54.80
S25-1340	B1-F2-AQ	73	20	7	Franco Arcillo Arenoso	0.02	4.79	1.47	0.07	0.85	4.46	93.46	----	3.13	0.57	0.16	0.065	4.54	0.73	9.20	42.73	57.84
S25-1341	B2-F2-AQ	63	22	11	Franco Arcillo Arenoso	0.03	4.71	1.02	0.06	0.59	3.14	50.67	----	4.03	0.87	0.18	0.066	2.52	0.37	7.84	63.12	54.88
S25-1342	B2-F2-AQ	63	22	13	Franco Arcillo Arenoso	0.19	4.50	3.39	0.17	1.86	5.87	86.56	----	3.74	0.87	0.18	0.066	2.44	0.37	7.84	67.34	52.11
S25-1343	B3-F6-AQ	69	22	9	Franco Arcillo Arenoso	0.02	4.51	1.77	0.19	3.16	4.83	59.55	----	3.99	0.66	0.13	0.068	5.85	0.64	11.38	43.18	48.89
S25-1343	B3-F6-AQ	77	20	3	Franco Arcillo Arenoso	0.04	4.51	1.07	0.06	0.622	5.585	74.212	----	3.38	0.63	0.24	0.068	5.39	0.66	10.33	41.60	52.15

* Los Resultados deben ser validados con una certificación con certificado personal neclerno de copareto a norms. La saturación us calculi de la suma dei porcentaje daisda per ia. CIC calculada en el ensayo.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
TONGO MARIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, AGUA Y ECOTOXICOLOGIA


Mg. JIMMY ALCIDES OCAÑA REYES
JEFE



* Los Resultados deben ser validados con una certificación con certificado de constar ostermo die jurupalno a norma. La saturación us calcula de la suma dei porcentaje de bases divide pier ia. N- calculada en el ensayo percecion on ensayo.

Figura 8. Análisis de suelos por el Laboratorio de la UNAS



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 200



INFORME DE ENSAYO
LABSAF PUCALLPA
N° 1210871 / SU / PC



III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Carbono Orgánico Total / Materia Orgánica	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.7, AS-07 2002 Determinación de materia orgánica del suelo (AS-07 Método de Walkley y Black).

IV. CONSIDERACIONES

- Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo
- Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
- El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- Medición de pH realizada a 25 °C.
- Medición de Conductividad Eléctrica realizada a 25 °C.

(**) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información.

V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

- El presente Informe de ensayo ha sido autorizado por: José Quintanilla Rosas - Responsable LABSAF Pucallpa del LABSAF - PUCALLPA



Firmado digitalmente por:
QUINTANILLA ROSAS Jose Emanuel
FAU 20131365994.sof
Motivo: En señal de conformidad
Fecha: 21/12/2025 13:52:23-0500

Firma

FIN DE INFORME DE ENSAYO



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliare
Acreditado con la Norma
NTP-ISO/IEC 17025:2017
LABSAF Pucallpa

Dirección: Carretera Federico Basadre km 44, Coronel Portillo, Ucayali
Email: labsafpucallpa@inia.gob.pe

F-46 / Ver.06
www.inia.gob.pe



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 200



INFORME DE ENSAYO
LABSAF PUCALLPA
N° 1210872 / SU / PC



III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Carbono Orgánico Total / Materia Orgánica	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.7, AS-07 2002 Determinación de materia orgánica del suelo (AS-07 Método de Walkley y Black).

IV. CONSIDERACIONES

- Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo
- Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
- El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- Medición de pH realizada a 25 °C.
- Medición de Conductividad Eléctrica realizada a 25 °C.

(**) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información.

V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

- El presente Informe de ensayo ha sido autorizado por: José Quintanilla Rosas - Responsable LABSAF Pucallpa del LABSAF - PUCALLPA

Firma

FIN DE INFORME DE ENSAYO



Firmado digitalmente por:
QUINTANILLA ROSAS Jose Emanuel
FAU 20131365994 soft
Motivo: En señal de conformidad
Fecha: 21/12/2025 13:52:51-0500



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliare
Acreditado con la Norma
NTP-ISO/IEC 17025:2017

LABSAF Pucallpa
Dirección: Carretera Federico Basadre km 44, Coronel Portillo, Ucayali
Email: labsafpucallpa@inia.gob.pe

F-46 / Ver.06
www.inia.gob.pe



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 200



INFORME DE ENSAYO
LABSAF PUCALLPA
N° 1210873 / SU / PC



III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Carbono Orgánico Total / Materia Orgánica	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.7, AS-07 2002 Determinación de materia orgánica del suelo (AS-07 Método de Walkley y Black).

IV. CONSIDERACIONES

- Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo
- Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
- El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- Medición de pH realizada a 25 °C.
- Medición de Conductividad Eléctrica realizada a 25 °C.

(**) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información.

V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

- El presente Informe de ensayo ha sido autorizado por: José Quintanilla Rosas - Responsable LABSAF Pucallpa del LABSAF - PUCALLPA

Firma



Firmado digitalmente por:
QUINTANILLA ROSAS Jose Emanuel
FALU20131265994.pdf
Motivo: En señal de conformidad
Fecha: 21/12/2025 13:53:24-0500

FIN DE INFORME DE ENSAYO



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliareos
Acreditado con la Norma
NTP-ISO/IEC 17025:2017
LABSAF Pucallpa

Dirección: Carretera Federico Basadre km 44, Coronel Portillo, Ucayali
Email: labsafpucallpa@inia.gob.pe

F-46 / Ver.06
www.inia.gob.pe

Anexo 3. Panel fotografico



Figura 9. Reconocimiento de la parcela e instalación del banner



Figura 10. Delimitación para los puntos de muestreo



Figura 11. Marcado de los puntos de muestreo



Figura 12. Muestreo para densidad aparente del suelo



Figura 13. Obtención de muestras para densidad aparente a tres profundidades



Figura 14. Muestreo para fracción de carbono y propiedades físicas y químicas del suelo



Figura 15. Traslado de las muestras a laboratorio



Figura 16. Pesado de muestras de suelo



Figura 17. Secado de muestras de suelo en estufa