

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



CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS SUELOS
ASOCIADOS CON EL DESARROLLO DE *Guadua angustifolia Kunth*
“BAMBÚ” Y SUS APORTES AL ALMACENAMIENTO DE CARBONO

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

MERLITH MAGDIEL ACUÑA SOBRADOS

Tingo María – Perú

2023



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N°100-2023-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 30 de octubre de 2023, a horas 07:00 p.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS SUELOS
ASOCIADOS CON EL DESARROLLO DE *Guadua angustifolia* (BAMBÚ) Y
SUS APORTES AL ALMACENAMIENTO DE CARBONO”**

Presentado por la Bachiller: **ACUÑA SOBRADOS, MERLIT MAGDIEL**, 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 AMBIENTAL**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 16 de noviembre de 2023


Dr. LUIS EDUARDO ORÉ CIERTO
PRESIDENTE


Dr. JOSÉ DOLORES LÉVANO CRISÓSTOMO
MIEMBRO




Ing. M. Sc. ANDY WILLIAMS VELA ZEVALLOS
MIEMBRO


Dr. JOSÉ KALIÓN GUERRA LU
ASESOR



“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 051 - 2024 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Ingeniería Ambiental

Tipo de documento:

Tesis	<input checked="" type="checkbox"/>	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	-------------------------------------	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS SUELOS ASOCIADOS CON EL DESARROLLO DE <i>Guadua angustifolia</i> Kunth “BAMBÚ” Y SUS APORTES AL ALMACENAMIENTO DE CARBONO	MERLIT MAGDIEL ACUÑA SOBRADOS	20 % Veinte

Tingo María, 14 de febrero de 2024


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN
Dr. Tomás Menacho Maliqui
JEFE

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS SUELOS ASOCIADOS CON EL DESARROLLO DE *Guadua angustifolia Kunth* “BAMBÚ” Y SUS APORTES AL ALMACENAMIENTO DE CARBONO

Autor	: Acuña Sobrados, Merlith Magdiel
Asesor	: PhD. Guerra Lú, José Kalión
Programa de investigación	: Biodiversidad
Línea de investigación	: Ecología y Conservación
Eje temático de investigación	: Restauración y Conservación Ambiental
Lugar de Ejecución	: Bosque Reservado UNAS – Tingo María
Duración	: 6 meses
Financiamiento	: Propio

Tingo María – Perú

2023

VICERRECTORADO DE INVESTIGACION
OFICINA DE INVESTIGACION



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCION DEL
TITULO UNIVERSITARIO, INVESTIGACIÓN DOCENTE
Y TESISISTA

(Resol. N° 113-2019-CU-R-UNAS)

I. Datos Generales de Pregrado

Universidad	:	Universidad Nacional Agraria de la Selva.
Facultad	:	Facultad de Recursos Naturales Renovables.
Título de tesis	:	Características Físicas y Químicas De Los Suelos Asociados Con El Desarrollo De <i>Guadua angustifolia Kunth</i> “Bambú” y Sus Aportes Al Almacenamiento De Carbono
Autor	:	Acuña Sobrados, Merlith Magdiel.
Asesor de tesis	:	Guerra Lu, José Kalion.
Escuela Profesional	:	Ingeniería Ambiental
Programa de investigación	:	Biodiversidad.
Línea(s) de investigación	:	Ecología y Conservación.
Eje Temático	:	Restauración y Conservación Ambiental
Lugar de ejecución	:	Bosque Reservado UNAS – Tingo María.
Duración	:	Inicio : Marzo 2020 Término : Octubre 2020
Financiamiento	:	FEDU : S/0.00 Propio : S/20,430.00 Otros : S/.0.00

Tingo María, Perú, marzo 2024.

Merlith Magdiel Acuña Sobrados

Tesista

José Kalion Guerra Lu

Asesor

DEDICATORIA

Al creador de todas las cosas, el que me ha dado fortaleza para continuar cuando a punto de caer he estado; por ello, con toda la humildad que de mi corazón puede emanar, dedico primeramente mi trabajo a Dios.

En especial a mis padres al Señor Abercio Acuña Colchado y la Señora Evangelina Sobrados Muñoz, que me apoyaron y contuvieron los momentos malos y en los menos malos. Gracias por enseñarme a afrontar las dificultades sin perder nunca la cabeza ni morir en el intento. Me han enseñado a ser la persona que soy hoy, mis principios, mis valores, mi perseverancia y mi empeño. Todo esto con una enorme dosis de amor y sin pedir nada a cambio.

A mis hermanos, Delmer Abercio Acuña Sobrados y Ronald Acuña Sobrados, por su apoyo y muestras de afecto y confianza, durante el desarrollo de toda mi formación profesional.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Recursos Naturales Renovables y la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, que contribuyó en mi formación personal y profesional y al laboratorio de calidad de aire por brindarme las facilidades para el uso del equipo en la ejecución de la tesis.

A mi asesor de tesis, el PhD. Guerra Lu José Kalion, por ayudarme con problemas técnicos en mi época universitaria y por la sincera amistad y la exigencia de culminar el proyecto, por el constante apoyo y acompañamiento a lo largo de este proceso.

A la Facultad de Recursos Naturales Renovables y la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental por la calidad de docentes y la enseñanza que me impartieron durante mi etapa universitaria contribuyendo para ser un profesional de éxito.

A los jefes de laboratorio de suelos por todo su apoyo y contribuyeron con la realización de este importante documento.

A mis familiares y amigos que de una u otra forma fueron elementos claves a lo largo de la elaboración de esta investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Estado del arte.....	4
2.1.1. Internacionales.....	4
2.1.2. Nacionales.....	5
2.1.3. Locales.....	7
2.2. Marco conceptual.....	8
2.2.1. El suelo.....	8
2.2.2. Características físicas del suelo.....	8
2.2.3. Características químicas del suelo.....	12
2.2.4. El carbono (C).....	20
2.2.5. La especie <i>Guadua angustifolia</i>	25
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
3.1. Ubicación del área.....	32
3.1.1. Lugar de ejecución.....	32
3.1.2. Ubicación geográfica.....	32
3.2. Aspectos ambientales.....	33
3.2.1. Clima.....	33
3.2.2. Relieve y Suelos.....	33
3.2.3. Flora.....	34
3.3. Materiales, herramientas y equipos.....	34
3.3.1. Materiales.....	34
3.3.2. Equipos.....	34
3.4. Criterios de investigación.....	35
3.4.1. Nivel de investigación.....	35
3.4.2. Tipo de investigación.....	35
3.4.3. Variables de investigación.....	35
3.4.4. Operacionalización de variables.....	35
3.4.5. Diseño de investigación.....	36
3.4.6. Población y muestra.....	37

3.4.7.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	37
3.4.8.	Análisis de datos	37
3.5.	Metodología	37
3.5.1.	Caracterización física y química de los suelos asociados al desarrollo de <i>G. angustifolia</i> en una distribución horizontal a 2, 5 y 10 m de distancia de la mata	37
3.5.1.1.	Reconocimiento del terreno	37
3.5.1.2.	Ubicación y georreferenciación de los puntos de muestreo	38
3.5.1.3.	Muestreo de suelos	38
3.5.1.4.	Análisis de las muestras de suelos	38
3.5.1.5.	Métodos analíticos para los análisis de suelos utilizados	38
3.5.2.	Estimación de la cantidad de CO ₂ almacenado de los suelos asociados al desarrollo del bambú.....	39
3.5.3.	Determinar las diferencias significativas de las características físicas y químicas en los suelos asociados al desarrollo de <i>G. angustifolia</i> en una distribución horizontal a 2, 5 y 10 metros de distancia de la mata	45
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
4.1.	Caracterización física y química de los suelos asociados al desarrollo de <i>C. angustifolia</i> , en una distribución horizontal a 2, 5 y 10 metros de distancia de la mata.....	48
4.1.1.	Caracterización física del suelo asociados al desarrollo de <i>C. angustifolia</i>	48
4.1.2.	Caracterización química del suelo asociado al desarrollo del bambú	52
4.2.	Estimar la cantidad de CO ₂ almacenado de los suelos asociados al desarrollo del <i>G. angustifolia</i>	55
4.2.1.	Carbono orgánico de la hojarasca.....	58
4.2.2.	Carbono orgánico en raíces	60
V.	CONCLUSIONES	69
VI.	PROPUESTAS A FUTURO	70
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
ANEXO	.....	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Densidad aparente y Densidad real de los suelos de acuerdo con su grupo textural.....	12
2. Relación textura/densidad aparente y porosidad del suelo.....	12
3. Niveles de pH en el suelo.	13
4. Intervalos de materia orgánica en el suelo	14
5. Niveles de contenido de nitrógeno.	15
6. Niveles de contenido de fósforo disponible	15
7. Niveles de contenido de potasio disponible (K ₂ O).	16
8. Rangos interpretativos para la CIC.....	17
9. Rangos interpretativos para calcio (Ca ²⁺) intercambiable.	18
10. Rangos interpretativos para Magnesio (Mg ²⁺) intercambiable.....	19
11. Rangos interpretativos para potasio (K ⁺) intercambiable.	19
12. Rangos interpretativos para sodio intercambiable.....	20
13. Rangos interpretativos para la Conductividad eléctrica.	20
14. Coordenadas UTM de los puntos de muestreo.....	32
15. Variables en estudio.	35
16. Análisis de suelos para la clase textural de las 5 plantas de <i>Guadua angustifolia</i> a diferentes distancias de muestreos a 2 m, 5 m y 10 m.....	49
17. Promedios Análisis Mecánico de arena, limo y arcilla de los suelos muestreados.....	51
18. Valores de pH de los suelos a la distancia de 2, 5, 10 m calificativo y sus efectos.	52
19. Valores del promedio del pH de los suelos a la distancia de 2, 5, 10 m calificativo y sus efectos.....	53
20. Resultados de materia orgánica de los suelos en 5 plantas de <i>Guadua angustifolia</i> a distancias de 2, 5,10 metros de distancia de cada mata.	54
21. Valores promedios de materia orgánica de los suelos muestreados a 2 m 5 m 10 m de distancia de cada mata de <i>Guadua angustifolia</i>	55
22. Promedios de carbono orgánico del suelo asociado al desarrollo de <i>Guadua angustifolia</i> .	56
23. Comparación de promedios de carbono orgánico en hojarasca del suelo asociado al desarrollo del <i>Guadua angustifolia</i>	58
24. Comparación de promedios de carbono orgánico en raíces.	60

25. Valores de N, P y K de los suelos a la distancia de 2, 5, 10 m de muestreo y calificativo de nivel de fertilidad.	63
26. Valores de N, P y K promedio de los suelos a la distancia de 2, 5, 10 m de muestreo y calificativo de nivel de fertilidad.	64
27. Valores de CIC+ cationes cambiabiles de los suelos a la distancia de 2, 5, 10 m de muestreo de la mata de <i>Guadua angustifolia</i>	65
28. Valores promedio de CIC y microelementos a distancias de 2, 5, 10 m de muestreo.	66
29. Datos de % Bas. Camb. % Ac.Camb y % Sat. Al, de los suelos a distancia de 2, 5, y 10 m de muestreo de la mata de <i>Guadua angustifolia</i>	67
30. Valores promedio de de % Bas. Camb. % Ac.Camb y % Sat. Al. a distancias de 2, 5, 10 m de muestreo.	68
31. Análisis de suelos para la clase textural de las 5 matas de <i>C. angustifolia</i> a 2 m de distancia.	84
32. Análisis de suelos para la clase textural de las 5 plantas de <i>C. angustifolia</i> a 5 m de distancias de la mata.	85
33. Análisis de suelos para la clase textural de las 5 plantas de <i>C. angustifolia</i> a 10 m de distancias de la mata.	86
34. Valores de pH de los suelos de las 5 matas de <i>G. angustifolia</i> a 2 m de distancias, calificativo y sus efectos.	87
35. Valores de pH de los suelos a la distancia de 5 m calificativo y sus efectos.	87
36. Valores de pH de los suelos a la distancia de 10 m calificativo y sus efectos	88
37. Resultados de materia orgánica de los suelos en 5 plantas de <i>G. angustifolia</i> muestreados a 2 metros de distancia de cada mata.	88
38. Resultados de materia orgánica de los suelos en 5 plantas de <i>G. angustifolia</i> muestreados a 5 metros de distancia de cada mata.	89
39. Resultados de materia orgánica de los suelos en 5 plantas de <i>G. angustifolia</i> muestreados a 10 metros de distancia de cada mata.	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Triangulo textural del USDA.....	11
2. Componente del almacenamiento de carbono	21
3. Ubicación de los puntos de muestro en el BRUNAS	33
4. Diseño de parcela para levantamiento de muestras de suelo, hojarasca y raíces.....	36
5. Diseño de parcela para la toma de muestras de suelo asociados a las matas de bambú, además de toma de muestras de hojarasca y raíces.	40
6. Carbono orgánico almacenado por distancia de mata de <i>Guadua angustifolia</i>	57
7. Carbono orgánico almacenado a nivel de hojarasca por distancia de mata de <i>Guadua angustifolia</i>	58
8. Carbono orgánico almacenado a nivel de las raíces por distancia de mata de <i>Guadua angustifolia</i>	61
9. Muestreo de suelo área de <i>G. angustifolia</i>	90
10.Muestras de suelo distancias a 2 m, 5 m y 10 m del área de <i>G. angustifolia</i>	90
11.Muestreo de suelo a 2 m de distancia de <i>G. angustifolia</i>	91
12.Muestras de suelo a 5 m de distancia de <i>G. angustifolia</i>	91
13.Muestreo de suelo a 10 m de distancia de <i>G. angustifolia</i>	92
14.Muestras de suelo a 10 m de distancia de <i>G. angustifolia</i>	92
15.Análisis de suelos de las matas de bambú.	93

RESUMEN

La investigación se desarrolló en el bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva BRUNAS, que cuentan con matas de bambú, en las áreas de influencia de la provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco. Para esto, se tomaron muestras de suelo a profundidades de 0-20 cm y a distancias de 2, 5 y 10 metros de distancia de la mata de *Guadua angustifolia* Kunth “bambú”, los análisis físicos y químicos se realizaron en el laboratorio de Análisis de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, adscrita a la Facultad de Agronomía, que cuenta con profesionales competitivos para el caso, evaluando las propiedades físicas y químicas, así como su aporte al almacenamiento de carbono. Después del análisis correspondiente se tiene como resultado que los suelos asociados al desarrollo de *Guadua angustifolia* Kunth “bambú”, presentan tres clases texturales: Arena con textura gruesa, Franco Arcillo Arenoso con textura fina y Franco Arenoso que se considera suelos textura modernamente fina, pH de 4.20 con calificativo de extremadamente ácido y un valor de 1.6% en materia orgánica que es considerado con nivel bajo, los niveles de fertilidad están considerando como baja no existiendo diferencias significativa en los suelos tomados en las distancias de 2, 5 y 10 metro de la mata de bambú, la cantidad de CO₂ almacenado de los suelos asociados al desarrollo del *Guadua angustifolia* Kunth “bambú”, es de 26.55 t C ha⁻¹ a 2 m, 26.16 t C ha⁻¹ a 5 m y 18.74 t C ha⁻¹ a 10 m de distancia con un valor promedio de 23.8 t C ha⁻¹. Los niveles de fertilidad baja de los suelos donde se desarrollan *Guadua angustifolia* Kunth “bambú”, se debe a muchos factores que tienen influencia en su desarrollo como: la textura, la acidez extrema del suelo, el nivel bajo de materia orgánica, no presentando diferencias significativas en su distribución horizontal en las distancias evaluadas.

Palabras clave: calidad del suelo, textura, biomasa, propiedades, suelo

The Physical and Chemical Characteristics of the Soil Associated with the Development of *Guadua angustifolia* Kunth “Bamboo” and Its Contributions to the Stored Carbon

Abstract

The research was carried out in the Universidad Nacional Agraria de la Selva's forest reserve (BRUNAS – acronym in Spanish), which has bamboo groves in the influential areas within the Leoncio Prado province in the Huánuco department [of Peru]. In order to do this, samples of the soil were taken at depths of 0-20 cm and at distances of 2, 5, and 10 meters from the *Guadua angustifolia* Kunth “bamboo” groves. The physical and chemical analyses were carried out in the Universidad Nacional Agraria de la Selva's soil analysis laboratory, attached to the Faculty of Agronomy, which has competitive professionals for this study. The physical and chemical properties were evaluated, as well as their contribution to the stored carbon. After the corresponding analysis, for the results, it was obtained that the soil associated with the development of *Guadua angustifolia* Kunth “bamboo,” presented three classes of texture: sand with a thick texture, sandy loamy clay with a fine texture, and loamy sand, which was considered to be soil of a modernly fine texture. The pH was 4.20, with a classification of extremely acidic and a value of 1.6% for the organic matter, which was considered to be a low level. The levels of fertility were considered to be low, [with] no significant differences existing between the soil taken from the distances of 2, 5, and 10 meters from the bamboo groves. The quantity of CO₂ stored in the soil associated with the development of *Guadua angustifolia* Kunth “bamboo,” was 26.55 t C ac⁻¹ at 2 m, 26.16 t C ac⁻¹ at 5 m, and 18.74 t C ac⁻¹ at 10 m of distance, with an average value of 23.8 t C ac⁻¹. The low levels of fertility in the soil where *Guadua angustifolia* Kunth “bamboo,” developed was due to many factors which influenced the development, such as: the texture, the extreme acidity of the soil, [and] the low level of organic matter; no significant statistical differences were presented in the horizontal distribution of the evaluated distances.

Keywords: soil quality, texture, biomass, properties, soil

I. INTRODUCCIÓN

Los suelos desempeñan una función importante en el ciclo del carbono a escalas globales, ya que son capaces de almacenar grandes cantidades de carbono orgánico e inorgánico. El carbono en el suelo se encuentra almacenada en la materia orgánica en diferentes etapas de descomposición, que incluye residuos vegetales y animales. Uno de los procesos clave en el ciclo del carbono es la fotosíntesis que se lleva a cabo en las plantas, donde las plantas toman CO₂ de la atmósfera, más agua que ingresa por las raíces, más energía proveniente del sol y lo convierte en hidratos de carbono más la liberación de moléculas de oxígenos. Esta materia orgánica se incorpora al suelo a través de la caída de hojas, raíces muertas y excreciones microbianas.

Las diversas estrategias desarrolladas para aumentar el almacenamiento de carbono en los suelos incluyen prácticas agrícolas sostenibles, como la agricultura de conservación, el manejo de pastizales, la rotación de cultivos y la aplicación de enmiendas orgánicas, además de la restauración de ecosistemas degradados como bosques y humedales mediante plantaciones forestales con diversas especies, que también contribuyen al almacenamiento de carbono en los suelos.

Las plantaciones forestales y la reforestación desempeñan un papel esencial en la captura y almacenamiento de carbono, ya que a medida que las especies crecen, aumenta su capacidad de capturar y almacenamiento de carbono, que la planta almacena en su sistema radicular en la parte subterránea del suelo, y en su cormo en la parte aérea formando lo que se conoce como biomasa aérea conformado por la biomasa de hojas, ramas y tronco de los árboles. Además, cuando las especies forestales pierden hojas, ramas o mueren naturalmente, este material orgánico se descompone y se incorpora al suelo, incorporando carbono en forma de carbono orgánico al suelo el mismo que es almacenado y tiende a modificar, las propiedades fisicoquímicas del suelo.

En los últimos años se vienen instalando plantaciones forestales y desarrollando muchos proyectos de reforestación para la recuperación de diversos ecosistemas, donde están considerando la especie *Guadua angustifolia* (bambú), una característica destacada es su rápido crecimiento ya que pueden crecer hasta 30 centímetros por día, en este proceso aparte de acumular carbono en su biomasa aérea y subterránea, tallos, hojas y raíces, el bambú tiende a modificar las características químicas, físicas y biológicas del suelo, lo que lo convierte en una fuente sostenible de biomasa renovable y una poderosa herramienta para el almacenamiento de carbono.

Una de las características por las que sobresale el bambú como especie forestal es su capacidad para producir y almacenar gran cantidad de biomasa, lo que permite restaurar la productividad del suelo, ya que aporta materia orgánica, que a su vez aporta nutrientes en su proceso de descomposición. El bambú tiene un papel potencial en la mitigación del cambio climático, una hectárea secuestra un 40% más de dióxido de carbono que una conífera o eucalipto similar en 10 o 14 años; produce 4 veces más oxígeno que otros árboles; contiene seis veces más celulosa que los árboles de pino y produce hasta 40 ton/ha de biomasa al año. Configurándolo en uno de las plantas más importantes en la lucha contra el cambio climático (Revilla Chávez, 2019).

La especie *Guadua angustifolia* a pesar de sus cualidades, funciones y su aporte al ambiente son pocos los estudios realizados que evidencien la captura de carbono y su influencia en los cambios características químicas y físicas del suelo, especialmente en las modificaciones de la textura, pH, presencia de materia orgánica, presencia de minerales la retención y almacenamiento de agua y calidad del carbono orgánico, en tal sentido comprender esta relación es esencial para implementar prácticas de manejo y conservación del suelo, hecho que genera la siguiente pregunta ¿cuáles son las características físicas y químicas de los suelos asociados con el desarrollo de *Guadua angustifolia* y sus aportes al almacenamiento de carbono? Sabiendo que las prácticas silvícolas sostenibles, como la adopción de técnicas de conservación de suelos e instalación de sistemas agroforestales, pueden mejorar las propiedades del suelo que incrementa su capacidad para retener y almacenar carbono.

La presente investigación se encuentra justificada porque en la zona de Tingo María existe abundante población de *Guadua angustifolia*, que se encuentran dentro de predios agrícolas, ribera de los ríos, o asociadas bajo sistemas agroforestales, en tal sentido considerando su rápido crecimiento y alta densidad de biomasa, esta especie es una solución efectiva para la reforestación y restauración de tierras degradadas, lo que contribuye aún más a la captura de carbono y a la mejora de la calidad del suelo por lo que planteamos como hipótesis que, esta especie modifica las propiedades físicas y químicas del suelo donde esta se desarrolla, ya que se destaca por su capacidad excepcional para absorber y almacenar carbono durante su ciclo de crecimiento,. En base a lo mencionado se formulan los objetivos:

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

- Evaluar las características físicas y químicas de los suelos asociados con el desarrollo de *Guadua. angustifolia* y sus aportes al almacenamiento de carbono.

1.1.2. Objetivos específicos

- Realizar la caracterización física y química de los suelos asociados al desarrollo de *Guadua angustifolia*, en una distribución horizontal a 2, 5 y 10 metros de distancia de la mata.
- Estimar la cantidad de carbono orgánico (CO₂) almacenado de los suelos asociados al desarrollo de *Guadua angustifolia* a 2, 5 y 10 metros de distancia de la mata.
- Determinar las diferencias estadísticas significativas de los cambios en las características físicas y químicas de los suelos asociados al desarrollo de *Guadua angustifolia* en una distribución horizontal a 2, 5 y 10 metros de distancia de la mata.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Estado del arte

2.1.1. Internacionales

Según Abutu (2010), el bambú es una hierba que crece en África, Asia y América Latina. Se mencionó que el bambú puede ayudar a combatir el cambio climático y generar ingresos para las comunidades locales. Según Coosje Hoogendoorn, quien dirige la Red Internacional de Bambú y Ratán (INBAR), nos indica que el bambú secuestra carbono más rápidamente que otras especies de árboles cuando se gestiona adecuadamente. El bambú es considerado como una planta de rápido crecimiento, crece más de 30 centímetros por día y previene más del 80% de la erosión del suelo con sus raíces.

Para *Guadua angustifolia* se reporta una serie de cualidades resaltándose su rápido crecimiento para el que nos indican que en los primeros 30 días, presenta una tasa de crecimiento de 4 a 6 cm., por día, siendo este crecimiento mayormente en la noche, después de alcanzar aproximadamente los 90 cm., la tasa de crecimiento se incrementa de 9 a 11 cm., por día, para este crecimiento implica para la planta una gran actividad fisiológica fotosintética, en donde se captura gran cantidad de dióxido de carbono y se emite una igual cantidad de oxígeno hacia la atmosfera. (CATIE, 2004). Después de capturado el dióxido de carbono este es almacenado en sus estructuras, reportándose para la especie de *Bambusa oldhamii* un almacenamiento en la parte aérea de una plantación de 51.3 Mg/ha⁻¹ (Castañeda et al., 2005).

El reporte de diferentes investigadores en relación a la fijación y almacenamiento de carbono nos indican que *Bambusa oldhamii* Munro captura y almacena 51.98 Mg.ha⁻¹ de carbono al año dato que es reportado por, Castañeda, Vargas, Gómez, Valdez, & Vaquera, (2005), en Bolivia para la misma especie Rojas-Quiroga et al., (2013) reporta un almacenamiento de 27.53 Mg.ha⁻¹ y en Costa Rica para la misma especie Elizondo-Briceño et al., (2016), reporta un 46.91 Mg.ha⁻¹ de captura y almacenamiento de carbono, para la especie de *Guadua angustifolia* en Colombia Camargo et al., (2010), nos indican que fija 20.9 Mg.ha⁻¹ de carbono, mientras que otros autores en sus trabajos de investigación reportan mayores escalas de fijación que varían de 24.6 a 51.98 Mg.ha⁻¹ o bien, 54 Mg.ha⁻¹ (Riaño, Londoño, López, & Gómez, 2002)”; citado por Aguirre et al., 2018).

Hay estudios que afirman que el contenido de cenizas de la hojarasca de *Guadua angustifolia* es superior al de otras coberturas. Estos estudios también afirman que

cuando se aplican tratamientos a la micro y macro fauna del suelo, la superficie de *Guadua angustifolia* presenta valores sensibles por encima de los de otras coberturas artificiales; presentando cambios en el suelos donde el fósforo y potasio son más asimilables es decir que la asimilación de estos elementos aumenta significativamente en la zona con bambú, pasando a la categoría de muy alto en ambos nutrientes; Bajo las condiciones del estudio, *Guadua angustifolia* logró reducir las pérdidas de suelo por erosión hídrica en un 50% y aumentar la retención de carbono en 90 t/ha en comparación con la planta ficticia. (García y Del Castillo, 2013).

Se han realizado varios trabajos para determinar cuánto de carbono se almacenaba en los diferentes sistemas agrícolas bajo sombra, en el sur de Colombia se evaluaron sistemas cafetaleros, con árboles para sombra densamente poblados con una variedad de sombras (Alta.Dens), Plátano con baja diversidad (Plat. Bdiv), Nogal en alta densidad (Nog.Ad), Guamo en alta densidad (Guam.Ad), Sombra compleja diversificada (Com.Div), en estos sistemas se aplicaron mediciones para determinar biomasa a través de ecuaciones alométricas, en un periodo de 06 meses entre junio y diciembre del 2012, en donde los sistemas con mayor tasa de almacenamiento de carbono fueron: Com.Div y Guam.Ad con 87,37 y 58,11 t ha⁻¹ de carbono respectivamente. Los sistemas Alta.Dens y Guam.Ad presentaron baja tasa de almacenamiento de carbono en su biomasa. (Vega et al., 2013)

2.1.2. Nacionales

En la provincia de Rioja se evaluaron sistemas asociados agroforestales entre pino chuncho + café, y eucalipto Torrelliana + café, buscando determinar la cantidad de carbono capturado y almacenado, (tC/ha) en la biomasa aérea, específicamente en la materia orgánica necro masa y la presente en los componentes del suelo, para la cual se aplicó la metodología del Centro Internacional de Investigación Agroforestal (ICRAF 2009), para la estimación del carbono capturado en los diferentes elementos del sistema agroforestal, en el trabajo que se reporta se establecieron cinco parcelas de muestreo de 100 m² cada una para recolectar muestras de la biomasa aérea, cinco fosas de 0.30 m de profundidad cada una para recolectar muestras de suelo. Se utilizaron fórmulas para cada componente para calcular el contenido de carbono y se utilizó el Análisis de Varianza para comparar los resultados. (Díaz 2020).

Los resultados obtenidos en las evaluaciones de los sistemas agroforestales evaluados se tienen como promedio para el sistema eucalipto Torrelliana + café fue de 61,642 tC/ha para biomasa aérea, 728,100 tC/ha para suelo y 0.473 tC/ha para necro

masa; para el sistema agroforestal pino chuncho + café el promedio por componente evaluado fue de 69.301 tC/ha para biomasa aérea, 1,060.694 tC/ha para suelo y 1.003 tC/ha para necro masa, en este estudio a realizar el análisis de varianza se encontró que existe diferencias significativas en la captura de carbono en la necro masa y en el carbono orgánico almacenado en el suelo, no existiendo diferencia significativa para el carbono capturado y almacenado en la biomasa aérea, el sistema agroforestal pino chuncho + café, debido al mayor diámetro a la altura del pecho, mayor peso de la necro masa y mayor porcentaje de materia orgánica almacenada en el suelo es el que presenta mayor captura de carbono que el sistema agroforestal eucalipto torrelliana + café. (Díaz 2020).

Con el objetivo de valorar los beneficios ambientales desde el punto de vista económico, del almacenamiento del carbono orgánico en el suelo con cultivos de *Coffea arabica* L. “café”, Pusare (2021) realizó una investigación en la Región Pasco, Provincia de Oxapampa en los predios agrícolas del Distrito de Chontabamba, en el año 2020, que contaron con sistemas agroforestales con café, para hacer un comparativo con bosques nativos en relación a la capacidad de estos de almacenar carbono, es así que se hizo la comparación entre un bosque nativo con un sistema agroforestal de café + pacaé, así como también se evaluó comparativamente un bosque nativo con un sistema agroforestal café + pino, para la cual se utilizó la metodología utilizada por ICRAF, que esta validada para la evaluación de la capacidad que tienen los diferentes sistemas arbóreos y los bosques para almacenar el carbono orgánico en el suelo, en su diseño experimenta trabajo con tres parcelas de muestreo de 1 x 2 m. en las cuales se tomaron muestras de suelo a 30 cm de profundidad, para calcular la DA y el porcentaje de carbono orgánico, se determinó la materia orgánica presente en la muestra determinando así mismo la densidad mediante el método de calcinación y el método del cilindro de volumen conocido, respectivamente. Para el análisis de las variables se utilizó el análisis de varianza, la prueba de Tukey, la correlación y la regresión.

Como resultado Pusare (2021) encontró que los bosques nativos tienen una mayor capacidad para almacenar carbono orgánico del suelo, lo que tiene un mayor valor económico (431 tCO₂e/ha, USD 11,766.57) que en los sistemas agroforestales del cultivo de café + pino, y café + pacaé (249.944 tCO₂e/ha, USD 6,810.997 en A; y 190.690 tCO₂e/ha, USD 5,196.308 en B), así mismo determino que dentro de estos dos sistemas evaluados, el sistema fase + pacaé presenta mayor capacidad para almacenar carbono y mayor valor económico, siendo el que mejor se adaptaría a los efectos del cambio climático.

2.1.3. Locales

En su estudio, Del Águila y Caldas (2022) buscaron determinar cuánto impacta el sistema agroforestal en los servicios ambientales en la producción de café. La Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales del Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) sirvió de base para este estudio. Para recolectar carbono se tomaron 10 muestras de suelo y 10 muestras de hojas y frutos de las áreas de investigación de Bolognesi y Divisoria en la región de Aucayacu, Huánuco. Se llevaron al laboratorio de la UNAS y al laboratorio Servicios Analíticos Generales S.A.C donde se estimó el almacenamiento de carbono en suelo, hojas y frutos, así mismo se pudo determinar el valor económico de cada muestra tomada. Con un valor económico máximo de 9 y 8,8 soles, respectivamente, las mayores mediciones de captura de carbono para las regiones de Bolognesi y Divisoria fueron 33,4g y 34,6g, respectivamente. Se determinó que otros factores, incluyendo la cantidad de sombra, nutrientes, fertilizantes, etc., impactan en los “servicios ambientales” en relación a la capacidad del cultivo de café para capturar carbono.

Ramos (2022). Un equipo de investigación de la Amazonía peruana trabaja en una tecnología para clonar tres especies de bambú para ser utilizados en la captura de carbono en las microcuencas de Ucayali, según el artículo. El bambú es considerado una especie de rápido crecimiento y multipropósito. Respecto a que aún se desconocen muchas de sus características y propiedades, lo que impide su introducción en el mercado, el Perú alberga alrededor de 60 especies, la mayoría de las cuales se encuentran en la Amazonía. El investigador principal del proyecto, Jorge Revilla, afirmó que "El proceso de clonación implica tomar una parte de la planta, ya sea raíz o rama, y realizar pruebas con rizomas para generar nuevas plantas". Cabe señalar que la planta en su crecimiento y desarrollo, captura y almacena carbono de la atmósfera a través del proceso fotosintético produciendo además de hidratos de carbono que es almacenado, la producción de oxígeno que es liberado a la atmósfera, siendo unos de los objetivos de la investigación, con el fin de mejorar la calidad de vida de los lugareños y combatir el cambio climático. Una base de estudios muestra que, en comparación con otros árboles, el bambú produce por hectárea cinco veces más oxígeno y puede absorber un 45% más de dióxido de carbono en comparación con el eucalipto. Según Revilla, cuando se reproduzcan suficientes plantas, cada una podrá absorber hasta 50 toneladas de carbono por hectárea.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. El suelo

El suelo estructuralmente está formado por componente físicos químicos y biológicos que abarcan el área de la superficie terrestre donde pueden crecer las plantas, y cuyas características están determinadas a lo largo del tiempo y topográficamente por una serie de factores climáticos y micro faunísticos. Al examinar esta definición, es posible ver cómo la ciencia del suelo se relaciona con la geomorfología, el clima, la geología y todas las formas de vida, incluidos los hongos, bacterias, algas, líquenes, los animales y las plantas. Hay diferentes tipos de microorganismos presentes en el suelo, así como también una serie de macro invertebrados que actúan sobre el suelo, y que modifican en forma constante su estructura y composición química, favoreciendo la formación del horizonte superficial, generando diversos tipos de porosidad que determinan el almacenamiento y retención del agua, así como la presencia de aire. Todo esto sería la definición más precisa del componente suelo como recurso limitado y sistema de soporte de vida debido a su fragilidad y facilidad de contaminación. El suelo, formado por materiales no vivos como rocas desmenuzadas, cenizas volcánicas, aluviones, coluviones, depósitos eólicos o depósitos glaciares, no se considera un componente dinámico y complejo, sino más bien un soporte para diversas actividades humanas. (Garmendia et al., 2005).

Según Caballero (2015), el suelo es un ente dinámico, trifásico, y tridimensional que se encuentra en la capa superior de la corteza terrestre, y es aquí donde existen una variedad de organismos y donde crecen las plantas. Se distingue por un perfil del horizonte con rasgos distintivos y reconocibles. La formación del suelo se da por la descomposición de las rocas madre como consecuencia de cambios bruscos de temperatura, así como por la acción de la humedad, el viento las precipitaciones y acción los seres vivos.

2.2.2. Características físicas del suelo

Sánchez (2007) nos indica que la textura, la estructura, el color, su composición química son las características que le dan identidad al suelo, mientras que la capacidad de retención de humedad, el coeficiente de penetración, su porosidad, permeabilidad, aireación, densidad, etc., definen el comportamiento del suelo como resultado de sus propiedades únicas.

2.2.2.1. Textura del suelo

El porcentaje de arcilla, arena y limo y arcilla presente en el suelo son los que determinan la textura del suelo. La textura será más arcillosa cuanto más pequeña sean las partículas, y más arenosa cuanto más grandes sean las partículas. (Zavaleta, 1992).

$$\% \text{ ARENA} + \% \text{ LIMO} + \% \text{ ARCILLA} = 100\%$$

a. Textura Arenosa

Es un suelo suelto que sólo forma gránulos sencillos. Se pueden ver y sentir fácilmente partículas individuales. Se liberará sin esfuerzo después de comprimirlo con la mano seca. Formará un molde cuando se presione en estado húmedo y se desmoronará al tocarlo.

b. Textura Franco arenosa

Está formado por un suelo con mucha arena, pero también limo y arcilla, que unen las partículas de forma más eficaz. Los granos de arena son visibles a simple vista y fácilmente palpables. Tiene una forma que se rompe fácilmente cuando se extruye en seco, pero si se manipula con cuidado cuando se extruye húmedo, el patrón resultante se mantendrá.

c. Textura Franca

Tiene un tacto áspero y es blando o quebradizo, además de ligeramente plástico. Cuando se extruye en seco, el molde se puede manipular con cuidado y mantendrá su integridad; sin embargo, cuando se extruye húmedo, el molde puede manipularse sin cuidado y no se romperá.

d. Textura Franco limosa

La textura franco limosa se da en un suelo que contiene una porción considerable de partículas finas de arena, poca arcilla y más de la mitad de la categoría de tamaño de partículas conocida como limo.

e. Textura Franco arcillosa

Presenta como característica que cuando está seca, la tierra de textura fina normalmente se desmorona formando terrones sólidos. Al presionarlo de esta manera mientras aún está húmedo, se formará una cinta que se romperá fácilmente al soportar su propio peso. La tierra húmeda formará un molde que resistirá la manipulación porque es de

plástico. Cuando se amasa con la mano formara una masa compacta y no se destruye fácilmente.

f. Textura Arcillosa

También denominado de textura fina, que se caracteriza por presentar partículas muy finas, con tendencia a aglutinarse cuando está seco y volverse muy plástico y pegajoso cuando está mojado. Se crea una cinta larga y flexible cuando se comprime tierra húmeda entre el pulgar y los dedos restantes.

g. Clase textural

Cada vez, de una mezcla de sus fracciones se obtienen suelos. Dado que la arena, la arcilla y el limo se pueden combinar de muchas maneras, existen muchas clases de textura diferentes. Sin embargo, sólo se han establecido doce clases fundamentales de texturas, referidas en relación con el suelo y enumeradas en orden creciente de fracción fina. (Zavaleta, 1992).

La textura del suelo está determinada por el porcentaje de sus componentes de arcilla, limo y arena y de acuerdo a esto se clasifican de la siguiente manera:

Textura fina, cuando el mayor porcentaje de sus componentes es la arcilla, también conocido como suelos arcillosos.

Textura media, cuando es el limo el que se encuentra en mayor porcentaje, también conocido como suelos limosos.

Textura gruesa, cuando es la arena la que se encuentra en mayor porcentaje, también conocido como suelos arenosos.

h. Triángulo textural

El triángulo textural es una herramienta que no permite obtener las clases texturales del suelo en función a los porcentajes de arcilla, limo y arena presentes en los suelos, es un triángulo equilátero en cuyos lados se sitúa una fracción de los componentes del suelo cuyo valor cero corresponde al 100 de la anterior y su 100 con el cero de la siguiente, cada muestra de suelo viene definida en el interior del triángulo por un punto, este punto se obtiene al hacer que dos valores de porcentaje de la fracción de partículas intercepten (P. ej: Arcilla y Limo), en donde se traza una recta en los puntos de intersección de una clase textural a la otra en función de los porcentajes.

Las clases suelen asociarse en cuatro grupos principales que corresponden a las texturas arenosas, francas o equilibradas, arcillosas y limosas, según exista un componente dominante o una proporción adecuada de todos ellos.

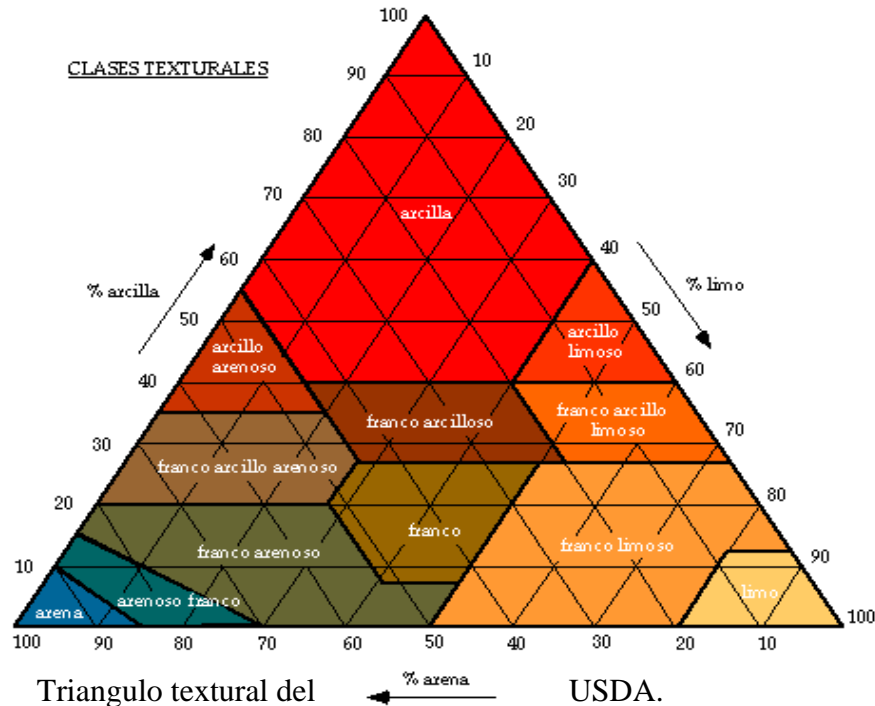


Figura 1. Triángulo textural del USDA.

2.2.2.2. Densidad aparente del suelo

La densidad aparente del suelo se encuentra normalmente con valores muy variables que depende de varios factores considerando dentro de los principales el contenido de materia orgánica, la cantidad de arena, arcillo y limo que determinan su textura, su porosidad que determina su estructura, además su grado de compactación, (Sánchez, 2007). Se describe en base a la relación masa sobre volumen, que para el caso se determina entre la masa de suelo secado al horno y el volumen total que ocupa, en esto influyen el volumen de las partículas y el espacio poroso entre ellas. Las densidades de las partículas minerales varían de 1,7 g/cm³ en suelos arenosos, y en suelos arcillosos; de 1,5 a 1,7 g/cm³ en suelos francos y 1,0 a 1,5 g/cm³ en suelos franco arcillosos. (USDA, 1999).

Se tiene indicadores en las características del suelo y que limitan el desarrollo óptimo de las raíces y que influyen en la densidad aparente del suelo dentro de estos se tiene los diferentes niveles de compactación, típicamente la densidad aparente del suelo esta entre 1.0 y 1.7 g/cm³, tendiendo este a incrementarse con la profundidad de perfil,

siendo la densidad aparente del suelo un dato muy importante para definir el nivel de compactación del suelo y determina la facilidad que tienen las raíces de penetrar en el suelo para ser utilizado como soporte y como fuente de nutrientes. (Acevedo y Martínez 2003; Doran y Parkin 1996). Según el grupo textural, en la Tabla 1 se muestran los rangos interpretativos de DA y densidad real

Tabla 1. Densidad aparente y Densidad real de los suelos de acuerdo con su grupo textural.

Grupo textural	g/cm³.	
	Da	Dr
Franco arenoso	1.35 - 1.44	2.53 - 2.63
Franco	1.34 - 1.50	2.56 - 2.66
Limoso	1.35 - 1.49	2.45 - 2.65
Franco limoso	1.24 - 1.54	2.49 - 2.58
Franco arcilloso	1.35 - 1.49	1.74 - 2.78
Arenoso	1.34 - 1.49	2.58 - 2.66
Arcillo limoso	1.24 - 1.46	2.49 - 2.59
Arcilla	1.18 - 1.34	2.54 - 2.64

Fuente: Soil Survey Staff, (1993).

Tabla 2. Relación textura/densidad aparente y porosidad del suelo

Clase textural	Da g/cm³	% Porosidad
Arenoso	1.6 - 1.8	30 - 35
Franco Arenoso	1.4 - 1.3	35 - 40
Franco	1.3 - 1.4	40 - 45
Franco Limoso	1.2 - 1.3	45 - 50
Arcilloso	1.0 - 1.2	50 - 60

Fuente: Soil Survey Staff, (1993).

2.2.3. Características químicas del suelo

Dentro de las características químicas del suelo esta influenciada básicamente por la cantidad de micro y macro nutrientes presentes en el suelo, el pH, la cantidad de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico, que son los que determinan las clases de suelo clasificados como suelos fértiles, suelos pobres, y que

determinan el crecimiento del cultivo logrando un equilibrio entre estos tres elementos. (Ramírez, 2013).

La química del suelo controla las relaciones entre el suelo y las plantas en donde se establecen una serie de interacciones, la calidad del agua, la respuesta, la disponibilidad de nutrientes, disponibilidad de agua y la vida microbiana, en donde los macro y micronutrientes, MO, CO lábil, pH, CE, capacidad de adsorción de fosfato, CIC, variaciones en la MO, nitrógeno total y mineralizable son algunos indicadores, de la calidad del suelo

2.2.3.1. Reacción del suelo (pH)

El pH. del suelo depende de la composición química, es decir de la presencia de los elementos minerales y que una parte de ellos son utilizados por la planta como nutrientes, se expresa en términos de pH. y es el grado de acidez o alcalinidad que presenta el suelo y que es primordial para el desarrollo óptimo de la planta, afectando también en forma indirecta la actividad microbiana, los procesos biológicos, la disponibilidad de nutrientes y las reacciones químicas, afectando también la solubilidad, la movilidad de nutrientes, la disponibilidad de otros constituyentes, y la contaminación inorgánica. (FAO, 2020; Sánchez, 2007).

Tabla 3. Niveles de pH en el suelo.

Interpretación	Rango
Extremadamente ácido	< 4.5
Fuertemente ácido	4.6 - 5.4
Moderadamente ácido	5.5 - 6.5
Neutro	6.6 - 7.3
Moderadamente alcalino	7.4 - 8.5
Fuertemente alcalino	>8.5

Fuente: Soil Survey Staff, (1993).

2.2.3.2. Materia orgánica

La materia orgánica está conformada por los restos de residuos vegetales, como son: hojas, ramas, frutos, así como por las excreciones de la macro fauna presente en el suelo, y por la materia que se aporta por la muerte tanto de plantas y animales, los mismos que son incorporados al suelo y sufren un proceso de desintegración por los microorganismos. Los cuales sirven como fuente de combustible y alimento para los

organismos del suelo y como punto de partida para la producción de coloides orgánicos (Jaramillo, 2002).

Según Zavaleta (1992), la materia orgánica también es necesaria para que el suelo tenga una constitución saludable. Los suelos arenosos con una consistencia excesivamente suelta se mejoran añadiendo materia orgánica (compost), y los suelos arcillosos con una composición excesivamente densa también pueden beneficiarse de la adición de compost.

En la materia orgánica presente en el suelo se pueden encontrar diferentes fracciones y grados de descomposición, incluidos componentes lábiles como fúlvicos, húmicos y húmicos, o proteínas, ligninas, carbohidratos y taninos. Se tiene que la materia orgánica presente en el suelo mejora los indicadores físicos que apoyan el desarrollo de las plantas, incluida la retención de humedad, la formación de agregados, la capacidad de intercambio catiónico, la retención de cationes y los oligoelementos esenciales. (FAO, 2020).

Tabla 4. Intervalos de materia orgánica en el suelo

Nivel	Rango (%)
Bajo	< 2
Medio	2 a 4
Alto	>4

Fuente: Soil Survey Staff, (1993).

2.2.3.3. Nitrógeno del suelo

La presencia del nitrógeno en el suelo, depende de la dinámica en el ciclo biogeoquímico del nitrógeno, en donde la abundancia o escases de nitrógeno depende de los aportes materia orgánica, que se da mediante la fertilización, la adición de estiércoles, de los aportes post muerte de animales y plantas, de los procesos de fijación del nitrógeno atmosférico por parte de las bacteriana y de las algas Cyanophytas y de esta manera el nitrógeno es incorporado al suelo. La presencia de nitrógeno en el suelo se ve afectado por una serie de factores climáticos, dentro de estos esta la temperatura en la cual a medida que aumenta la temperatura disminuye el contenido de nitrógeno en el suelo, cuando la humedad aumenta también aumenta el contenido de nitrógeno en el suelo, las pérdidas del nitrógeno en el suelo se dan principalmente por lixiviación, la desnitrificación, la volatilización y por la fijación de nitrógeno en forma amoniacal. (Sánchez, 1981; Navarro, 2003).

Tabla 5. Niveles de contenido de nitrógeno.

Nivel	Rango (%)
Bajo	Menor de 0.1
Medio	0.1 – 0.2
Alto	Mayor de 0.2

Fuente: Soil Survey Staff, (1993).

2.2.3.4. Fósforo disponible del suelo

El fósforo disponible en el suelo procede de la descomposición de la roca madre conocido comúnmente como fósforo inorgánico, y se da por procesos de erosión, además se da por adición de humus al suelo y de otras materias orgánicas que continúen fósforo dentro de sus estructuras, este fósforo es conocido como fósforo orgánico. Rara vez el contenido total de fósforo del suelo, medido como P_2O_5 , supera el valor de 7 ppm. Debido a su alta insolubilidad, las plantas no pueden utilizar la mayor parte del fósforo del suelo; para que sea asimilable debe encontrarse como $H_2PO_4^-$ o $HPO_4 =$ en la solución del suelo.

El fósforo en el suelo en la forma de $HPO_4 =$ es la más asimilable, en donde la absorción del fósforo por las plantas está influenciado por el pH, siendo más eficiente cuando el pH., es bajo, se señala además que la presencia del fósforo en el suelo esa también relacionado con la textura y el contenido de materia orgánica, en promedio se encuentra 180 mg/kg. Este elemento, sin embargo, la absorción se ve obstaculizado por la fijación al suelo. (Navarro, 2003; Sánchez 1981)

Debido a su escasa disponibilidad y alta reactividad en el suelo, particularmente en suelos ácidos, el fósforo forma parte de los componentes estructurales de la célula, que cumplen funciones de recepción y transferencia de energía puesto que forman enlaces altamente energéticos. Como resultado, el suministro depende de la erosión de las rocas y del aporte de fertilizantes. (SAGARPA, 2012).

Tabla 6. Niveles de contenido de fósforo disponible

Nivel	Fósforo (ppm)
Bajo	Menor de 7
Medio	7 – 14
Alto	Mayor de 14

Fuente: Soil Survey Staff, (1993).

2.2.3.5. Potasio disponible del suelo

El potasio disponible en el suelo depende de los aportes por la descomposición de los restos vegetales, y de la ruptura y descomposición de la roca madre que contenga minerales potásicos. El suelo contiene cantidades comparativamente grandes de potasio. Su textura afecta su contenido de K_2O . Todos los seres vivos necesitan el componente nutricional potasio K. Al igual que la necesidad de nitrógeno, las verduras requieren grandes cantidades de este nutriente. K participa en procesos metabólicos que favorecen la fructificación, la maduración y la calidad del fruto, así como el crecimiento vegetativo. La disponibilidad del potasio en el suelo se ve afectado por la extracción en la actividad agrícola, así como también por la erosión y la lixiviación. (Navarro, 2003).

El potasio (K), que está presente en forma del ion K^+ , se encuentra asociado a las partículas de arcilla, es por esta razón que se encuentra más abundante en los suelos arcillosos formando una estructura laminar, también se considera el componente más importante en la fisiología vegetal porque es un componente de los tejidos, sirve como componente no constitutivo de los elementos estructurales fundamentales y actúa como neutralizador de los ácidos orgánicos producidos durante el metabolismo en su forma iónica. (Navarro & Navarro, 2003 SAGARPA, 2012)

Tabla 7. Niveles de contenido de potasio disponible (K_2O).

Nivel	Rango (kg/ha)
Bajo	Menor de 300
Medio	300 – 600
Alto	Mayor de 600

Fuente: Soil Survey Staff, (1993).

2.2.3.6. Capacidad de intercambio catiónico

La capacidad de intercambio catiónico está definida por la suma de todos los cationes de cambio (H^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , etc.), Consiste en la capacidad total de cambio (CTC) de un suelo, las plantas pueden utilizar y almacenar más los nutrientes disponibles en el suelo cuando estos tienen una capacidad de intercambio catiónico más alta, el contenido de materia orgánica en el suelo, así como la textura afectan la capacidad de intercambio catiónico, cuando en los suelos se incrementa el contenido de materia orgánica y la arcilla se aumenta la capacidad de intercambio catiónico es decir esta es alta, acá el contenido de arcilla es importantes puesto que está relacionado: superficie-volumen los

valores de CIC es variable dependiendo del tipo de arcilla presente en el suelo. (Ferrerias et al., 2007; Guerrero, 2000).

a. Factores de CIC

La capacidad de intercambio catiónico del suelo está determinada por varios factores entre ellos se tiene:

La textura del suelo en donde el tamaño de la partícula cuando esta es más pequeña, más grande será la capacidad de cambio.

También depende del tipo de cationes cambiabiles, si son monovalentes, o divalentes.

El nivel de acides determinado por el pH. en donde a pH. ácidos predomina en el suelo, H^+ , y aflora el Al^{+++} , en los suelos alcalinos predominan las bases, fundamentalmente el Na^+ y en los neutros el Ca^{++} (Zavaleta, 1992)

b. Importancia de la capacidad de intercambio catiónico.

La capacidad de intercambio catiónico interviene en el control de la disponibilidad de nutrientes para ser usado por las plantas principalmente de: Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , entre otros.

Cumple la función de depurador natural de los contaminantes incorporados al suelo permitiendo su retención.

Les da estabilidad a los agregados y facilita el desarrollo de las estructuras, ya que interviene en el proceso de floculación y dispersión de las arcillas. (Ferrerias et al., 2007).

Una mejor estructura del suelo que promueva la circulación del aire, la retención de agua, el movimiento microbiano y la fertilidad del suelo es el límite del comercio de cationes. Los alcances interpretativos de la CIC se presentan en la Tabla 18. (SAGARPA, 2012).

Tabla 8. Rangos interpretativos para la CIC.

Clase	CIC ($Cmol^{(+)} kg^{-1}$)
Muy Alta	$CIC \geq 40$

Alta	$25 \leq \text{CIC} < 40$
Medio	$15 \leq \text{CIC} < 25$ Baja
Baja	$5 \leq \text{CIC} < 15$
Muy baja	$\text{CIC} < 5$

Fuente: SAGARPA (2012).

2.2.3.7. Calcio intercambiable

El calcio intercambiable en los suelos de regiones semiáridas es un componente algo abundante. Sin embargo, su accesibilidad en la eliminación de suciedad es limitada porque normalmente está presente en sustancias con baja solubilidad. (SAGARPA 2012)

Los tejidos prematuros a menudo muestran deficiencias cuando los niveles del suelo son bajos porque el calcio (Ca), el segundo catión de reacción básica más común en las plantas después del potasio (K), tiene una baja capacidad de translocación dentro de las plantas. Además, establecen el valor del pH, la CIC y la relación sinérgica con otros cationes. (Navarro & Navarro, 2003).

Tabla 9. Rangos interpretativos para calcio (Ca^{2+}) intercambiable.

Clase	Ca ($\text{Cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$)
Muy bajo	$\text{Ca} < 2$
Bajo	$2 \leq \text{Ca} < 5$
Medio	$5 \leq \text{Ca} < 10$
Alta	$\text{Ca} \geq 10$

Fuente: SAGARPA (2012).

2.2.3.8. Magnesio intercambiable

El magnesio intercambiable, se encuentra en los suelos arenosos en porcentajes deficientes, lo que limita la capacidad de intercambio catiónico, el cual se considera como bajo, es un componente importante de las moléculas de clorofila y por lo tanto relacionado con la función fotosintética, es considerado como un ion intercambiable y es un componente mineral del suelo, tiene orígenes orgánicos e inorgánicos, la cantidad de magnesio en el suelo esta relacionado con: la clase textural, la concentración de otros

cationes, el clima, los aportes en forma de fertilizantes, los niveles de pH., la absorción por la planta, es frecuente observar deficiencia de magnesio en suelos arenosos, y en suelos con pH., ácido, en los suelos con capacidad de intercambio catiónico bajo. (Havlin et al., 1999; SAGARPA (2012),

Tabla 10. Rangos interpretativos para Magnesio (Mg^{2+}) intercambiable.

Clase	Mg ($Cmol^{(+)} \cdot kg^{-1}$) Muy baja
Muy bajo	$Mg < 0.5$
Bajo	$0.5 \leq Mg < 1.3$
Medio	$1.3 \leq Mg < 3.0$
Alta	$Mg \geq 3.0$

Fuente: SAGARPA (2012).

2.2.3.9. Potasio intercambiable

Del potasio intercambiable que se encuentra en el suelo, solo una pequeña parte es necesaria, el suelo contiene cantidades relativamente moderadamente altas de potasio, su superficie está determinada por su composición como K_2O y es en el componente arcilloso donde se encuentra en mayores porcentajes, por lo que en los suelos arcillosos y limo arcillosos se encuentra en mayor abundancia que en los suelos limo-arenosos y arenosos. (Cairo, 1995; Fassbender (1984).

Tabla 11. Rangos interpretativos para potasio (K^+) intercambiable.

Clase	K ($Cmol^{(+)} \cdot kg^{-1}$)
Muy bajo	$K < 0.2$
Bajo	$0.2 \leq K < 0.3$
Medio	$0.3 \leq K < 0.6$
Alto	$K \geq 0.6$

Fuente: SAGARPA (2012).

2.2.3.10. Sodio intercambiable

Aunque no se ha demostrado que sea un suplemento esencial, se sabe que el sodio intercambiable ocasionalmente reemplaza al potasio. Dado que el sodio se acumula en los tallos, troncos y raíces de muchas especies de plantas, estas especies no presentan efectos secundarios venenosos. En cambio, en las plantas que cuentan con sistemas que reducen la retención de sodio y su movimiento hacia las hojas. Las manchas necróticas

entre las nervaduras de las hojas son de indicadores de daño por sodio. En cualquier caso, una absorción elevada de sodio puede provocar deficiencias de cationes, incluidos K, Ca y Mg. (SAGARPA 2012).

Tabla 12. Rangos interpretativos para sodio intercambiable.

Clase	Na (Cmol (+)/kg)
Muy Baja	$0.0 \leq \text{Na} < 0.3$
Baja	$0.3 \leq \text{Na} < 0.6$
Normal	$0.6 \leq \text{Na} < 1$
Alto	$1 \leq \text{Na} < 1.5$
Muy Alto	$\text{Na} \geq 1.5$

Fuente: Soil Survey Staff (1993).

2.2.3.11. Conductividad eléctrica

La conductibilidad eléctrica del suelo, se da por la presencia de las sales presentes en el suelo y que las plantas la utilizan como nutrientes, en donde un exceso puede alterar el equilibrio hídrico del suelo ocasionado problemas en el desarrollo de las plantas, por lo que a mayor concentración de sales mayor es la conductibilidad eléctrica, en donde la concentración de estas sales en el suelo se da por incorporación en forma natural, como por aplicación junto a fertilizantes, un mapeo de campo proporciona representaciones integradas de las características variables del suelo y estas se relacionan con la productividad de los cultivos. (USDA, 1999).

Tabla 13. Rangos interpretativos para la Conductividad eléctrica.

CE ($\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$) a 25°C	Efectos sobre el suelo
$\text{CE} < 1.0$	Efectos despreciables de la salinidad
$1.0 \leq \text{CE} < 2.0$	Suelo muy ligeramente salino
$2.0 \leq \text{CE} < 4.0$	Suelo moderadamente salino
$4.0 \leq \text{CE} < 8.0$	Suelo salino
$8.0 \leq \text{CE} < 16$	Suelo fuertemente salino
$\text{CE} \geq 16$	Suelo muy fuertemente salino

Fuente: SAGARPA (2012).

2.2.4. El carbono (C)

El C se encuentra en la naturaleza en las siguientes formas: compuestos de carbono disueltos (carbonatos) en agua; dióxido de carbono o CO₂ en el aire; y los

compuestos de carbono, que forman los seres vivos y se obtienen mediante procesos metabólicos llevados a cabo durante el desarrollo y la muerte. El C es uno de los elementos más vitales de la vida porque constituye aproximadamente el 50% del peso seco de cada organismo. (Instituto Nacional de Estadística (INEI, 2005).

El COS (carbono orgánico del suelo) se puede encontrar en dos formas: conformaciones muy breves que son químicamente similares al C elemental, así como residuos orgánicos que han sufrido poca alteración, como los que dejan las plantas, animales y microorganismos en la forma de humus. (Martínez et al., 2008).



Fuente: IPCC, 2003.

Figura 2. Componente del almacenamiento de carbono

2.2.4.1. Biomasa y carbono

La cantidad total de seres vivos presentes en un ecosistema en un momento dado se denomina biomasa, que puede medirse en términos de peso seco, masa o volumen. Según Pardé (1980), el tronco del árbol, que constituye entre el 55 y el 77 % del total, concentra la mayor biomasa aérea, seguido de las ramas (del 5 al 37 %), las hojas (del 1 al 15 %), la corteza del tallo (5 a 16 %) y hojas (1 a 15 %), respectivamente. Dependiendo de la especie, edad, ubicación y manejo del agroecosistema, la contribución porcentual de cada componente (tronco, corteza, ramas, hojas y raíces) a la biomasa total de un árbol varía mucho. (Pardé, 1980).

2.2.4.2. Almacenamiento y fijación de carbono

Es uno de los servicios ecosistémicos que brindan los bosques y la agrosilvicultura. La fotosíntesis, que llevan a cabo las hojas y otras partes verdes de las plantas para producir carbohidratos, liberar oxígeno y dejar C utilizada para formar la biomasa de la planta, incluida la madera de los árboles, genera fijación de carbono. La base para la fijación de C en especies leñosas perennes; La base para la fijación de C en especies leñosas perennes. Primero, dado que el CO₂ es un gas atmosférico que se mueve alrededor del planeta, los esfuerzos para eliminar los GEI de la atmósfera serán igual de efectivos ya sea que se realicen cerca de las fuentes de emisiones o en el otro lado del mundo. En segundo lugar, mediante el proceso de fotosíntesis, las plantas toman CO₂ del aire y lo utilizan para crear azúcares y otros compuestos orgánicos que son esenciales para el crecimiento y el metabolismo. (Moura, 2001).

El vasto océano contiene 38.000 Gt de carbono, seguido por el suelo con 15.000 Gt, la atmósfera con 750 Gt y las plantas con 560 Gt a nivel mundial. El carbono se almacena en compartimentos llamados "depósitos" que se mueven activamente entre ellos. La actividad fotosintética por las plantas, general la absorción de CO₂ atmosférico y este es sostenible con los procesos respiratorios, en donde los cambios y alteraciones de entradas y salidas del CO₂ en la planta y el suelo se reflejan en las alteraciones de las concentraciones de CO₂ atmosférico y que es el gas más importante de los cambios climáticos, que ocasionan el calentamiento global del planeta. (Chidiak et al., 2003).

2.2.4.3. Secuestro de carbono

Nasi et al. (2002) Numerosos estudios indican que el potencial de almacenamiento de carbono en especies arbustivas y bosques es muy alto. De manera similar, los bosques primarios pueden almacenar hasta 250 t C ha⁻¹, de carbono en su suelo y vegetación. La agricultura migratoria también puede almacenar hasta 200 t C ha⁻¹ de carbono y, una vez que se hace la transición a la agricultura o los pastos permanentes, este valor puede aumentar.

Cabe señalar que el incremento de carbono orgánico del suelo depende de la calidad y volumen de los residuos que generan, así como del tipo de suelo y clima, lo que resultará en que el suelo tenga un alto potencia y capacidad de almacenamiento de carbono y que está relacionado con las entradas y salidas que se produzcan. El carbono orgánico del suelo es la fuente de alimento para la mayoría de los organismos que vive en el

suelo y sustenta las plantas existentes que forman parte de los sistemas ecológicos. (Follett & McConkey, 2000).

Junto con la reforma del suelo y la preservación de la biodiversidad, el secuestro y almacenamiento de carbono es de vital importancia frente al cambio climático. Su importancia también es crucial porque ayuda a mantener el equilibrio de la temperatura global, lo que a su vez ayuda a reducir la acumulación de CO₂ en la atmósfera. El tiempo que el carbono se almacena en la biomasa de diversos ecosistemas determinará cuánto tiempo le toma al carbono concentrarse en el suelo. (Maser, 2001).

2.2.4.4. Carbono orgánico del suelo (COS)

Referente al carbono orgánico del suelo, se tiene estimaciones que es de 1.500 Pg C., en cálculo considerando solamente el primer metro de profundidad del suelo, lo que indica que contiene más carbono que la atmósfera, que almacena aproximadamente 800 Pg C, y del carbono almacenado en la vegetación. El carbono orgánico del suelo forma parte del carbono total que forma parte de los ciclos biogeoquímicos, que, junto con el carbono almacenado en la vegetación, el carbono capturado y almacenado en los océanos y la atmósfera. (FAO y GTIS, 2015). El actual reservorio de carbono orgánico del suelo, está constantemente en movimiento y es dinámico porque circula continuamente con los reservorios globales de carbono de diversas formas moleculares. Como resultado se tiene que los suelos, proporciona una mayor concentración de carbono debido a su alto contenido en depósito de dicho elemento. (Kane, 2015).

Evaluando la sostenibilidad de la relación entre la cantidad de carbono que sale del suelo y la cantidad de carbono que ingresa al suelo, se sea por incorporación de materia orgánica como por procesos respiratorios en la que el carbono sale en forma gaseosa por la actividad de microorganismos o es mineralizada por estos microorganismos, y por procesos de lixiviación. A nivel local, el carbono puede cambiarse o aumentarse mediante la deposición de materia orgánica, de compuestos carbonados o la pérdida de carbono por factores que ocasionan la erosión del suelo, lo que resulta en una nueva distribución del carbono en el suelo. A pesar de esto, los niveles de almacenamiento de COS pueden controlarse mediante la gestión para su conservación en los diferentes ecosistemas, así como en el control de la cantidad y el tipo de desechos orgánicos que ingresan al suelo, lo que genera un aporte de incremento carbono orgánico al sistema suelo, y minimizando las pérdidas de carbono. (FAO y GTIS, 2015).

Los impactos que genera el carbono orgánico en el suelo sobre la actividad de los microorganismos es positiva, así mismo mejoran y regulan la temperatura del suelo y del contenido de humedad que son factores que tienen incidencia directa en la descomposición de la materia orgánica presente en el suelo por acción de diversos organismos, en donde el tipo y composición de las comunidades microbiológicas principalmente de las bacterias y hongos influyen en la descomposición de algunos compuestos orgánicos. (Thévenot et al., 2010).

Es necesario aclarar una serie de cuestiones antes de intentar cuantificar los flujos globales de carbono, una de las cuales es si los ecosistemas terrestres en todo el mundo tienen tendencia a fijar más CO₂ atmosférico a través de los procesos fotosintéticos o a liberar más CO₂ a la atmósfera por los procesos respiratorios de los seres vivos. Por otro lado, está el equilibrio global de C, que está influenciado por la densidad atmosférica de CO₂, la capacidad de los océanos para absorber CO₂, así como las emisiones derivadas de la quema de combustibles fósiles, el uso de los suelos y los cambios en el uso de la tierra. (CUT).

2.2.4.5. Carbono en la hojarasca

El carbono presente en la biomasa de las hojarasca, es un carbono orgánico que forma parte del carbono total presente en los ecosistemas terrestres, que contribuyen a disminuir la concentración del CO₂ de la atmósfera, a la vez incrementa los almacenes de carbono en el suelo, y que a través de procesos de desintegración proporcionan nutrientes al suelo, mejorando su capacidad productiva. Se conoce que los suelos de los bosques son los más grandes depósitos de carbono entre los ecosistemas terrestres, este se encuentra mayormente en las hojarasca y que a su vez son fuente importante de nutrientes para el suelo. (Schlegel et al., 2001).

2.2.4.6. Carbono en las raíces

Un componente principal del carbono almacenado en el suelo, está formado por el sistema radicular de las plantas, que forman así mismo parte del ciclo biogeoquímico del carbono, es en estas raíces donde se almacena durante mucho tiempo el carbono en forma orgánica y puede permanecer en este si no hay cambio en el uso del suelo, los fragmentos de ramas, hojas, raíces, tallos y frutos, son los que forman parte de la biomasa vegetal de un ecosistema, que pueden retornar a la atmósfera por procesos de respiración de las plantas animales y de los microorganismos, existe plantas que sus raíces pueden penetrar a

grande profundidades llegando incluso a más de 30 metros, pero la mayoría de las plantas sobre todo las herbáceas sus raíces llegan a una profundidad de 30 cm. (Schlegel et al., 2001).

2.2.5. La especie *Guadua angustifolia*

La especie *Guadua angustifolia* está clasificada por Arthur Cronquist como perteneciente a la clase Monocotyledoneae sub clase Commelinidae al orden Poales, familia Poaceae.

Según la actualización del grupo de filogenia de angiospermas del sistema de clasificación APG IV, la especie *Guadua angustifolia*, pertenece la clase Equisetopsida C. Agardh, a la subclase Magnolidae Novák ex Takht, al orden Poales Barnhart, familia Poaceae al género *Guadua* Kunth (Byng et al., 2016).

El código internacional de nomenclatura botánica describe a la especie *Guadua angustifolia* de la siguiente manera:

REINO: Plantae

SUB REINO: Fanerogamas

DIVISIÓN: Angiospermae

SUBDIVISIÓN:

CLASE: Monocotyledoneae

ORDEN: Poales

FAMILIA: Poaceae

SUBFAMILIA: Bambusoideae

SUPERTRIBU: Bambusodae

TRIBU: Bambuseae

SUBTRIBU: Guadinae

GENERO: *Guadua*

ESPECIE: *G. angustifolia*

La especie *Guadua angustifolia* “bambú”, presenta un tallo sin ramificación, mayormente recto, con un cierto grado de curvatura en la parte apical, llegan a media entre 15 a 20 metros de altura, con un diámetro de 7 a 14 centímetros (Londoño, 2010).

Tres partes forman el sistema de raíces de *Guadua angustifolia*: raicillas, rizomas y raíces adventicias. (Cruz 2009). El rizoma se categoriza como paquimórfico o definido; suele alcanzar profundidades de entre uno y tres metros, lo que explica que se adhieran bien al suelo, lo cual es fundamental porque permite la multiplicación vegetativa. Cada rizoma puede producir hasta 4 brotes con cualidades similares a las de la planta madre. Pueden aparecer los tres a la vez.

La *Guadua angustifolia* Tiene hojas que se ubican en el rizoma, pero a medida que crece, las hojas también son visibles en el tallo en los nudos. La forma triangular y la fuerza de las hojas sirven como características distintivas. Estas hojas, también conocidas como escamas, protegen las yemas nodales y axilares. (Giraldo 2007).

La raíz de *Guadua angustifolia*. Los rizomas se distinguen por su forma y comportamiento de ramificación. Además de servir como órgano para almacenar nutrientes y distribuirlos a diferentes partes de las plantas, el rizoma es un componente crucial de la reproducción sexual asexual del bambú, que se logra ramificando los rizomas.

La especie *Guadua angustifolia*, se distribuyen desde el nivel del mar y los 2600 m.s.n.m., teniendo como rango para su desarrollo óptimo entre los 600 m.s.n.m., y los 2000 m.s.n.m., son los Bosque muy húmedo tropical (BMH-T), Bosque muy húmedo Montano Bajo (BMH-MB), Bosque muy húmedo Subtropical (BMH-ST) y Bosque seco Tropical (BS-T), las zonas de vida donde mayormente se los encuentran. (Castaño y Moreno, citado en Corrales, 2017). Los requerimientos ambientales para *Guadua* que presenta rizomas paquimorfos, que es característica de *Guadua angustifolia*, son:

Entre 500 a 1,200 msnm de altitud

Entre 20 ° y 26°C de temperatura óptima.

Entre 1,200 a 3,500 milímetros de precipitaciones anuales

Entre 75 a 80% de humedad relativa

Requieren para su desarrollo suelos francos, franco limoso o arena limosos

Requiriendo así mismo del aporte de materia orgánica.

La especie *Guadua angustifolia* se desarrollan óptimamente en suelo franco arenoso y suelo franco arcilloso, y que tengan buen drenaje; aunque es frecuente encontrarlos en la rivera de los ríos que mayormente son suelos arenosos y con alto contenido

de humedad. Cada especie de este género tiene un hábitat definido, siendo por esta razón en muchos casos indicadoras de distintos tipos de bosque. (Ministerio de agricultura, 2008).

2.2.5.1. Importancia socioeconómica de *Guadua angustifolia*

La especie *Guadua angustifolia*, de rápido crecimiento y una de las plantas más adaptables del planeta, es una parte vital de la vida en las regiones tropicales y una fuente renovable de materias primas. Excelentes características tecnológicas que le permiten ingresar al sector de la construcción. La explotación de los bosques tropicales, con requerimientos cada vez mayores de materiales leñosos, considerando que la fibra de bambú puede ser utilizada también en la preparación de la pulpa de papel, estas características le confieren a *Guadua angustifolia* como un sustituto importante de los materiales leñosos. (Liese y Kohl, 2015).

Guadua angustifolia es muy utilizada por las poblaciones de las comunidades rurales de la amazonia, en nuestro país se considera al bambú como un recurso secundario en los sistemas productivos, a nivel mundial se tiene que un alto porcentaje de personas viven en casas rústicas en donde utilizan bambú para armar las estructuras, generales, así como también para paredes y techos, estas son las razones por las que en muchos predios agrícolas sean cultivadas y manejadas. (Añazco y Rojas, 2015).

Guadua angustifolia es una especie también reconocida por los servicios ambientales que nos brinda y por sus aportes al medio ambiente, capturando durante de la época de crecimiento que es rápido, el CO₂ atmosférico e incorporándolo en su biomas, así también por los aportes ecosistémicos para la protección del suelo, regulación de los ciclos hídricos, purificación del aire, conservación y generación de microclimas, protección a la biodiversidad, y por el atractivo paisajístico que brinda, mitigando los efectos del cambio climático por ser una especie que almacena gran cantidad de carbono en su biomasa. (Aazco y Rojas, 2015; Díaz et al.2017; INBAR, 2020).

2.2.5.2. Importancia ambiental de la especie *Guadua angustifolia*

La *Guadua angustifolia* beneficia al medio ambiente de muchas maneras. Por ejemplo, debido a su rápido desarrollo y crecimiento, agrega al suelo de 2 a 4 toneladas de biomasa por hectárea por año, lo que equivale al 10 al 14% del material vegetal total producido anualmente. Esto ayuda a la estructura y textura del suelo. La capacidad de las raíces para adherirse al suelo es crucial porque permite que la especie se vuelva protectora

evitando la erosión, lo que explica por qué se utiliza principalmente en las laderas de las cuencas hidrográficas.

La especie actúa como un buen almacenador hidrográfico al absorber la mayor cantidad de agua posible durante las estaciones húmedas y almacenarla en el tallo y el sistema rizomático para liberarla durante el verano, dependiendo de las necesidades del suelo. Estudios realizados por Sabogal (1983) y Giraldo (1996) se calcula que por cada hectárea de *Guadua angustifolia* se puede almacenar hasta 30 375 litros de agua.

El alto o bajo desarrollo de *Guadua angustifolia* depende de factores climáticos y características del suelo. Es fácilmente adaptable, lo que le ayuda vivir en climas cálidos, templados y fríos. Según numerosos análisis, la guadua puede adaptarse a temperaturas desde 16°C hasta 36°C, siendo el rango ideal de 20°C a 26°C. Cuando una planta se planta fuera de este rango, su desarrollo cambia y daña significativamente su crecimiento vegetativo (Cruz 2009).

2.2.5.3. La *Guadua angustifolia* como sumidero de carbono

La especie *Guadua angustifolia* Es un recurso sustentable y renovable, que brota rápidamente y mejora cuando se establece un régimen de uso y manejo sustentable en la plantación. En comparación con otras especies, el rápido crecimiento y regeneración favorecen más la formación de bosques, y esto hace que la especie desempeñe un papel fundamental en la producción de oxígeno y dióxido de carbono. (Giraldo, 2007).

Arango (2011), menciona que la *Guadua angustifolia* es un eficaz fijador y reservorio de dióxido de carbono. Las naciones industrializadas a las que el Protocolo de Kyoto exige que reduzcan o compensen sus emisiones han tomado nota de esta particularidad. Teniendo en cuenta la posibilidad de que utilizar esta alternativa resulte en menores costos que emprender otros proyectos con procedimientos intrincados, estas naciones han descubierto en la especie y otros bambúes una solución a los problemas que azotan al planeta.

Al incorporar la especie al mercado de carbono se debe tener en cuenta que el *Guadua angustifolia* tiene una capacidad de fijación de carbono de 53,1 toneladas por ha en 6 años, iniciando de 400 cepas por ha y con una producción de 8.640 tallos durante todo este período. (Riaño 2002).

2.2.5.4. Calidad de sitio para bambú

Para elegir la calidad de sitio para el cultivo del bambú, uno de los factores más importantes es elegir el tipo de suelos, ya que el éxito o fracaso de una plantación comercial depende de este factor, que unido a condiciones climáticas óptimas puede generar tallo más alto de 20 m., a más, por el contrario estos quedarán pequeños no sobrepasando los 6 a 7 metros de altura, (Díaz Zúñiga, 2020), al seleccionar el suelo correcto favorecerá el crecimiento del bambú así como también al propietario, puesto que esta se desarrollará más rápido, disminuyendo el tiempo de manejo para su aprovechamiento, generará además más número de tallos, con un diámetro más grueso, así como el alcance de la madures en más corto tiempo. (Díaz Zúñiga, 2020).

Después de los estudios de exploración además de la selección del suelo se debe buscar buenas condiciones climáticas, una altitud óptima, se debe evaluar la topografía, la vegetación existente circundante, con estos datos se debe decidir la ubicación más adecuada para el cultivo de bambú, de ser posible se debe hacer la selección del sitio considerando condiciones lo más similares posibles a sus hábitats naturales, aunque esto es un poco difícil de encontrar, por lo que se debe proceder a corregir las condiciones desfavorables del suelo, en lo que respecta a su estructura química, para que esta pueda proporcionar una mejor fertilidad para el bambú, también se debe considerar las precipitaciones buscando áreas que se acerquen al óptimo. (Díaz Zúñiga, 2020).

Específicamente en las regiones tropicales, en las áreas boscosas se caracterizan por presentar suelos negros de origen aluvial, que son adecuados para el cultivo del bambú, los suelos duros con alto contenido de manganeso, hierro y aluminio, causan limitaciones para el crecimiento de los rizomas del bambú, para el desarrollo del bambú los suelos más favorables son: Franco arenoso, Franco, Arenoso franco, con buenos niveles de fertilidad, ricos en materia orgánica, con suministro de agua natural, con buen drenaje, húmedo, pero no inundado. (Díaz Zúñiga, 2020).

Dentro de la estructura física la textura del suelo es importante para el crecimiento del rizoma, este debe tener un alto contenido de arena en menor proporción limo y arcilla, los suelos arcillosos, rojo, no son adecuados para el cultivo del bambú. (INTECAP, 1990), con esto nos indica que los suelos para una plantación de Guadua, debe de tener una textura suelta y ligera, inicialmente no nos debe preocupar el nivel de fertilidad en la selección de la calidad del sitio, ya que esto puede corregirse, lo que si es

necesario es la textura ya que de plantarse bambú en suelos arcillosos este estaría destinado al fracaso. (INTECAP 1990).

En la cercanía a los ríos, los tipos de suelos predominantes son los suelos aluviales, estos no son tan fértiles, pero son ligeros con presencia de arena, que favorece el desarrollo de los rizomas, estos suelos además presentan buen drenaje y contenido de humedad siendo en la selección de la calidad de sitio uno de las mejores opciones, más aún si estos presentan acumulación de materia orgánica, esta ayudara a disminuir el contenido de arcilla así como mejorar la fertilidad del suelo, estando ya presentes las plantas de bambú en un determinado espacio estos aportan constantemente materia orgánica por la caída de sus hojas, que forman capas en la superficie del suelo, que en su proceso de descomposición mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, estos espacio ocupados por las plantas de bambú los suelos son menos susceptibles a la compactación. (INTECAP 1990).

Los suelos donde se desarrollan las matas de bambú, se caracterizan por tener un alto contenido de humedad, que está relacionado con los regímenes hídricos, con los niveles de precipitación, con la textura del suelo, la estructura física, química y biológica del suelo, está relacionado con el contenido de materia orgánica, con la presencia de hojarasca en la superficie, y con la temperatura, es la textura del suelo la que determina el tipo de porosidad del suelo y en base a la porosidad determina la cantidad de agua que el suelo puede retener, es así mismo en la materia orgánica que son aportados por los residuos vegetales los que juegan un papel importante en la retención del agua comportándose como cojín o esponja absorbente, además que este factor determina la actividad microbiana y reducen una humedad excesiva, lo que facilita el desarrollo radicular, los ecosistemas que tienen problemas de oxigenación del suelo como es frecuente en los lugares inundados o propensos a inundación no son adecuados para el desarrollo del bambú, ya que impiden el desarrollo de los rizomas y la penetración de la raíz, siendo una recomendación la instalación de drenajes. (INTECAP 1990).

El determinar la capacidad de intercambio catiónico, para los suelos donde se desarrollan las matas de Guadua, es sorprendentemente muy importante que nos permite cambiar, corregir la estructura química y física del suelo, el mejor desarrollo de la plantación se da cuando los suelos tienen un pH entre 6.3 y 6.5, su desarrollo se ve afectado cuando el pH del suelo es por debajo de 5.5, y este es más afectado cuando el pH., es aún más bajo, se tiene referencia que aun pH de 4.5, el aluminio esta con altos niveles y se manifiesta

con un grado de toxicidad, que unido a la baja fertilidad afectan directamente al desarrollo del bambú. (AGUIRRE S., L. 2022).

Cuando el bambú está en periodo de crecimiento, y cuando está apareciendo los nuevos retoños las precipitaciones son muy importantes, teniendo un requerimiento promedio entre 1200 a 4050 mm de precipitaciones anuales, estos valores suelen variar y depende de la temperatura, y características del suelo como la permeabilidad, la escorrentía y la infiltración. (INTECAP 1990).

Para el crecimiento y desarrollo de *Guadua* (bambú) se considera como piso altitudinal óptimos entre 600 a 1000 msnm, con rango mínimo 40 msnm., y el máximo 2340 msnm., con una temperatura óptima de 31° C., con un mínimo de 9°C., y un máximo de 36° C., con una humedad relativa entre 79 – 95% con una óptima de 89%, con textura de suelo: franco, franco arenoso, arenoso, con precipitaciones óptimas de 2700mm., con una precipitación mínima de 1100mm., y una máxima de 4050mm., con una topografía deseable de 0 – 15°. (INTECAP 1990).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del área

3.1.1. Lugar de ejecución

La investigación se realizó en Tingo María y áreas de influencia que está ubicado en un ramal de la cordillera Azul, perteneciente a la selva alta o Rupa Rupa, Provincia de Leoncio Prado, Departamento de Huánuco, las muestra proceden del bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS) y de predios agrícolas que cuentan con matas de bambú, los análisis químicos de los suelos muestreados se realizaron en la unidad académica del laboratorio de suelos, que es administrada por la escuela profesional de Ciencias Agrícolas.

3.1.2. Ubicación geográfica

Las matas de *Guadua angustifolia* se encuentran ubicadas en las coordenadas geográficas (Longitud Oeste: 75° 59' 52'' y latitud Sur: 09° 17' 08''); en un rango de altitudes de 660 y 1 000 m.s.n.m., punto de referencia la Estación Meteorológica José Abelardo Quiñones.

Según la Guía de Muestreo de Suelos (2014), se realizó un muestreo de identificación, donde se muestrearon 5 puntos diferentes del área de estudio con la intención de localizar e identificar las características fisicoquímicas del suelo. La Tabla 14 proporciona detalles sobre las coordenadas de los puntos de muestreo.

Tabla 14. Coordenadas UTM de los puntos de muestreo.

Puntos de muestro	Coordenada UTM (WGS84-18S)			Altitud (msnm)
	Zona	Este (m)	Norte (m)	
1		390692.22	8970440.42	688
2		390690.41	8970455.89	690
3	18L	390707.73	8970463.68	692
4		390674.46	8970475.77	691
5		390696.54	8970484.07	695



Figura 3. Ubicación de los puntos de muestro en el BRUNAS

3.2. Aspectos ambientales

3.2.1. Clima

De acuerdo a lo registros de la estación de Meteorología e Hidrología que se encuentra en la Universidad Nacional Agraria de la Selva Tingo María (SENAMHI 2010) se tiene como reportes que Tingo María que se ubica en el Distrito de Rupa Rupa presenta un clima tropical, cálido y húmedo, con variaciones de temperatura que van de temperatura mínima 18°C, una máxima de 38°C y una temperatura promedio anual de 25.5°C, con una precipitación pluvial promedio de 3 250 mm/año, y con 85.67%. promedio de humedad relativa.

3.2.2. Relieve y Suelos

La zona de estudio está ubicada en un ramal de la cordillera azul a una altitud de 650 metros sobre el nivel del mar, hasta 1,100 metros sobre el nivel del mar, en un área de descenso de la cordillera con características fisiográficas bien definidas donde se aprecia lomas moderadas, colinas bajas, colinas altas con algunas afloraciones montañosas con pendientes que no superan el 25% lo que nos indica que son áreas que pueden ser utilizados en actividades agrícolas.

3.2.3. Flora

La flora que acompaña el área cercana a las zonas de muestreo es propia de una vegetación de selva alta con especies arbóreas en donde destacan *Virola calophylla* (cumala blanca), *Guarea silvatica* (requia blanca), especies conocidas con el nombre común de “moenas” pertenecientes a los géneros *Nectandra* sp, *Aniba* sp, *Licaria* sp, *Ocotea* sp entre otros, *Cedrela* sp (cedros), *Cinchona officinalis* (cinchona), *Cinchona pubescens* (palo blanco) *Nectandra cuspidata* (moena negra), *Cecropia dentata* (cetico), *Triplaris. americana* (tangarana), *Guatteria modesta* (carahuasca), *Cedrelinga cateniformis* (tornillo), *Iryanthera laevis* (cumala colorada), *Clarisia racemosa* (tulpay), *Brosimum alicastrum* (manchinga), *Ficus insipida* (ojé) entre otros, así como especies resultado de proyectos de reforestación como *Swietenia macrophylla* (caoba), *Cedrela odorata* (cedro colorado).

La flora arbustiva y herbácea se encuentra dispersa especialmente en zonas boscosas que han sido disturbadas con suelos erosionados, donde se desarrolla en forma heterogénea un bosque secundario, muchas de las especies arbóreas albergan especies epifitas dentro de estas las orquídeas y bromelias, donde sobresalen los géneros: *Pleurotalis* sp, *Oncidium* sp, *Epidendrum* sp, *Masdevallia* sp, *Maxillaria* sp, y dentro de las bromelia destacan las *Tillandsia* sp., la presencia de palmeras es común en todas las áreas.

3.3. Materiales, herramientas y equipos

En el levantamiento de la información y en los muestreos de los suelos asociados donde se desarrolla las matas de bambú, se utilizaron los siguientes materiales y equipos que a continuación se detallan:

3.3.1. Materiales

Lápices, Libreta de campo, Botas de jebe, Impermeable, Botiquín de primeros auxilios, Bolsas plásticas, Engrapadora, Wincha de 30 m, Rafia o cordel, Cuchillo de campo, Fólder manilla tamaño oficio, Costales, Palana plana, Tubo muestreador.

3.3.2. Equipos

Brújula, GPS, Estufa, Cámara fotográfica, Balanza analítica, Equipo de cómputo y Equipos propios de laboratorio de suelo.

3.4. Criterios de investigación

3.4.1. Nivel de investigación

El nivel de investigación fue probabilístico – descriptivo, debido a que se aplicó un muestreo para obtener datos representativos. Su objetivo, únicamente fue medir y recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren.

3.4.2. Tipo de investigación

La investigación es de tipo no experimental y descriptiva, analítica y comparativa ya que se recogió, analizó y evaluó los resultados que nos permitan hacer el análisis de la caracterización físicas y químicas del suelo asociados con el desarrollo de las matas de bambú, y el almacenamiento de CO₂.

3.4.3. Variables de investigación

Para la investigación se consideran las siguientes variables dependientes e independientes:

Variable independiente: Suelos en el área con Plantas de *Guadua angustifolia*, con distanciamiento a 2, 5 y 10 metros con respecto a la mata.

Variable dependiente: Características Físicas, químicas y Carbono orgánico del suelo.

Variables intervinientes: Tipo de suelo

3.4.4. Operacionalización de variables

Las variables evaluadas en la investigación estuvieron desglosadas de la siguiente manera:

Tabla 15. Variables en estudio.

	Variable	Dimensiones	Indicadores	Índices
Variable dependiente	Caracterización de los suelos asociados al desarrollo de <i>Guadua angustifolia</i>	Físicas	Textura	Granulometría
		Químicas	pH, materia orgánica	%
	Cantidad de CO ₂ almacenado de los suelos asociados al desarrollo del <i>Guadua</i>	Carbono	COS	t C ha-1

angustifolia.

		Físicas	Textura	Granulometría
Variable independiente	Suelos asociados al desarrollo de <i>Guadua angustifolia</i>	Químicas	pH, materia orgánica	%
		Carbono	COS	t C ha-1
Variable interviniente	Tipo de suelo	Propiedades físicas	Textura	Granulometría

3.4.5. Diseño de investigación

El diseño que se empleará para la presente investigación será transversal (Hernández et al., 2014), porque los datos se recolectaron en un solo momento, mediante el muestreo y análisis de suelos, evaluación de la compactación, densidad aparente y la macrofauna, actividades a realizar entre un periodo de seis meses. El diseño utilizado en la investigación consistió en seleccionar 5 puntos de muestreo [P1], en las parcelas de matas de bambú del BRUNAS [Tb], en cada uno de los puntos se extrajo aproximadamente 400 g de suelo, dentro de cada parcela establecida se tomó tres submuestras [R1(2m), R2(5m), R3(10m)], a fin de determinar la características físicas y químicas del suelo asociados con el desarrollo de las matas de bambú, y el almacenamiento de CO₂.

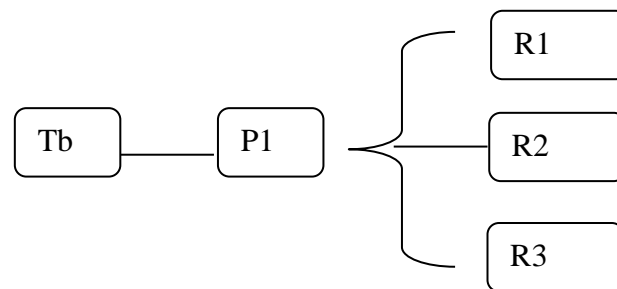


Figura 4. Diseño de parcela para levantamiento de muestras de suelo, hojarasca y raíces.

Donde:

[Tb]: Parcelas de mata de bambú,

[P1]: Puntos de muestreo,

[R1, R2, R3]: Sub- muestras

3.4.6. Población y muestra

La población es el área de terreno donde se encuentren matas de bambú en el Bosque Reservado de la UNAS en la provincia de Leoncio Prado.

La muestra son los suelos asociados con la presencia de matas de bambú dentro del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva BRUNAS, y de predios agrícolas con matas de bambú, en donde para la investigación se ha tomado en cuenta cinco (05) puntos de muestro.

3.4.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la toma de muestras de suelos de las diferentes áreas donde se desarrolla y crece las matas de bambú, se procedió de acuerdo con el protocolo establecidos y las recomendaciones dadas, los análisis físicos y químicos se realizaron en el laboratorio de análisis de suelo de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, el que cuenta con los reactivos, equipos y materiales necesarios, procediendo con el protocolo correspondiente, supervisado por docentes especialistas.

3.4.8. Análisis de datos

La interpretación de los datos se realizó en términos de los resultados de la investigación. Esta actividad consistió en establecer inferencias en base a la estadística descriptiva sobre las relaciones entre las características físicas y químicas de los suelos y el crecimiento de *Guadua angustifolia* para extraer conclusiones y recomendaciones.

3.5. Metodología

3.5.1. Caracterización física y química de los suelos asociados al desarrollo de *Guadua angustifolia* en una distribución horizontal a 2, 5 y 10 m de distancia de la mata

3.5.1.1. Reconocimiento del terreno

Se realizó un recorrido por áreas donde se encuentre matas de bambú, seleccionando que tengan características similares especialmente en cuanto a su fisiografía y tamaño de mata similares de las cuales se seleccionaron 5 matas procediéndose a georreferenciarlas.

3.5.1.2. Ubicación y georreferenciación de los puntos de muestreo

Una vez ubicados se procedió a la toma de muestra considerando tres muestras por mata las mismas que ha sido georreferenciada con un GPS, y se procedió la primera muestra a una distancia de 02 metros, la segunda a una distancia de 05 metros y la tercera muestra a una distancia de 10 metros.

3.5.1.3. Muestreo de suelos

Con el tubo muestreador de suelos y con ayuda de una palana se tomaron las muestras a una profundidad de 0 a 20 cm., tomándose aproximadamente un kilogramo de suelo, que se depositaron en bolsas de polietileno, previamente etiquetadas con el código de la mata de bambú, luego las muestra fueron llevadas al laboratorio de análisis de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva Tingo María, para los análisis correspondientes.

3.5.1.4. Análisis de las muestras de suelos

Las muestras obtenidas en campo de las áreas donde se desarrollan y crecen las matas de bambú, primeramente, fueron codificadas con códigos del laboratorio donde se realizaron los análisis, luego se promedió a separar la muestra para el análisis, siendo estas secadas, trituradas para proceder con los análisis.

Siguiendo con los protocolos correspondiente y de acuerdo con los métodos analíticos se procedió a realizar los análisis correspondientes que se realizaron en el laboratorio de suelos adscrita a la facultad de Agronomía, de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María.

3.5.1.5. Métodos analíticos para los análisis de suelos utilizados

- pH método del potenciómetro, relación suelo – agua 1:1;
- Materia Orgánica se determinó por el Método de Walkey y Black;
- Nitrógeno total se determinó por el Método Micro Kjeldahl;
- Fosforo disponible se determinó por el Método de Olsem modificado. Extracto de NHCO_3 0.5M, pH 8.5;
- Potasio disponible se determinó por el Método de acetato de amonio 1N, pH 7.0;
- Ca se determinó por el Método Absorción atómica;

- Mg se determinó por el Método Absorción atómica;
- K se determinó por el Método Absorción atómica;
- Na se determinó por el Método Absorción atómica;
- C.I.C. efectiva: Desplazamiento con KCl 1N (Suelo con pH < 7.0);
- Aluminio más hidrogeno se determinó por el Método de Yuan.

3.5.2. Estimación de la cantidad de CO₂ almacenado de los suelos asociados al desarrollo del bambú

La información ha sido sistematizada de acuerdo con los análisis de laboratorio correspondientes haciendo la caracterización de los factores físico químico de los suelos en una configuración horizontal, con el análisis de varianza se ha hecho la validación de los datos obtenidos, determinando si existe diferencias significativas para aceptar o rechazar la hipótesis nula.

3.5.2.1. Diseño del área

Se realizó el reconocimiento mediante el mapa de ubicación con el fin de establecer la estratificación respectiva del área y luego se realizó el reconocimiento en campo con la finalidad de establecer puntos de muestreo de cada una de las parcelas de *Guadua angustifolia*.

3.5.2.2. Diseño de recolección de muestras

Se delimitó las parcelas con las matas de *Guadua angustifolia* Kunth para el levantamiento de muestras usando un (DCA) diseño completamente al azar (Schlegel et al., 2001), por lo que enseguida se realizó parcelas con medidas de 50 m x 10 m (500 m²) aleatorizadas en cada parcela de bambú y dentro de cada parcela se estableció 3 subparcelas que consistió con las siguientes medidas:

- Para el levantamiento de muestras de hojarasca una subparcela con medidas de 50 m x 5 m (250 m²).
- Para el levantamiento de muestras de suelo y para determinar la DA (densidad aparente) una subparcela con medidas de 25 m x 5 m (125 m²).
- Para el levantamiento de muestras de raíces una subparcela con medidas de 25 m x 5 m (125 m²).

Finalizando las delimitaciones de sub-parcelas se procedió a realizar el levantamiento de las respectivas muestras; con lo que respecta a la sub-parcela de hojarasca se dividió en 10 partes igualitarias (McDicken, 1997) donde cada parte tuvo medidas de 5 m x 5 m (25 m²), tanto en la sub-parcela para levantamiento de suelos que también es para determinar la densidad aparente y para levantamiento de raíces se realizó unos pequeños hoyos con medidas de 0,3 m x 0,3 m x 0,3 m en cada una.

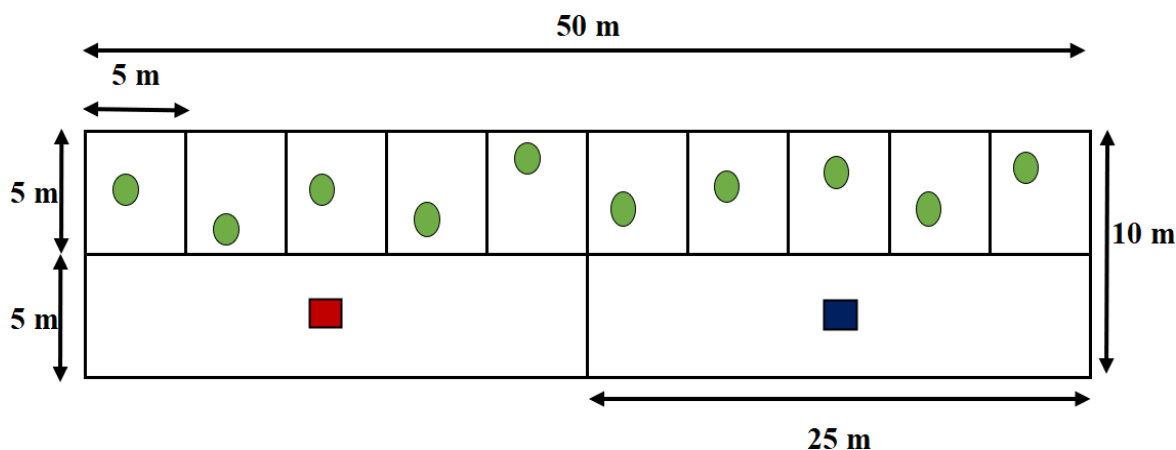


Figura 5. Diseño de parcela para la toma de muestras de suelo asociados a las matas de bambú, además de toma de muestras de hojarasca y raíces.

Donde:

- Punto para la toma de muestras de suelo asociados a las matas de bambú.
- Puntos para la toma de muestras de hojarasca de los espacios asociados a la mata de bambú.
- Punto para la toma de muestras de raíces de los espacios asociados a la mata de bambú.

3.5.2.3. Estimación de la biomasa del suelo, hojarasca y raíces en campo

Utilizando la metodología y las recomendaciones de Centro Internacional de Investigación en Agroforestería (ICRAF, 2009), se procedió a la estimación de la biomasa presente en el suelo, hojarasca y raíces.

3.5.2.4. Toma de muestras de suelo asociados a las matas de bambú, para cálculo de densidad aparente

En las sub-parcelas delimitadas de 125 m² con la ayuda de una palana se procedió a realizar cortes con medidas aproximadas de 0,3 m x 0,3 m x 0,3 m para

cada lado, tomando muestra de 0.5 kg de suelo a tres profundidades de 0 a 0,1 metros; 0,1 a 0,2 metros y 0,2 a 0,3 metros, según las recomendaciones de (ICRAF, 2009), haciendo un total de tres muestras por punto con un aproximado de 1,5 kg de suelo, los puntos de muestreo se consideró a dos, cinco y diez metro de distancia de la mata de bambú, haciendo un total de 45 muestras recolectadas, las mismas que fueron colocadas en bolsas plásticas previamente rotuladas, para ser llevadas a laboratorio para los análisis respectivos, los mismos que se realizaron en el laboratorio de suelos adscrita a la escuela profesional de ciencias agrarias de la Universidad Nacional Agraria de la Selva Tingo María.

Para la determinación de la densidad aparente se utilizó en método del cilindro, y que consistió en introducir un cilindro de metal de volumen conocido en los puntos de muestreo suelo a tres profundidades de 0 a 0,1 metros; 0,1 a 0,2 metros y 0,2 a 0,3 metros de acuerdo a lo establecido, procediendo a depositarlo en bolsas de plástico previamente etiquetadas para ser llevada al laboratorio para los tratamiento y cálculos correspondientes. (McDicken, 1997).

3.5.2.5. Toma de muestra de hojarasca de los espacios asociados a la mata de bambú.

Para la toma de muestras de hojarasca se procedió a subdividir en 10 partes iguales las subparcelas de 250 m² quedando cada una de estas partes con medidas de 5 m x 5 m (25 m²), una vez delimitada se procediendo a lanzar al azar un cuadrante de madera con medidas de 0.5 m x 0.5 m (0.25 m²), en el lugar donde cayó el cuadrante se recolecto todas las hojarascas que se encontraron dentro del cuadrante considerando además las ramas pequeñas y fragmento de ramas gruesas con un diámetro menor de < 4 cm., teniendo 10 muestras por cada subparcela, haciendo un total de 150 muestras de todas las sub-parcelas muestreadas, de igual manera de procedió a depositar las hojarascas recolectadas en bolsas de plástico, debidamente etiquetadas para ser llevadas al laboratorio para determinar el peso fresco, el peso seco para la cual se utilizó una balanza analítica y una estufa, haciendo los cálculos respectivo. (McDicken, 1997).

3.5.2.6. Toma de muestras de raíces de los espacios asociados a la mata de bambú.

Para la toma de muestras de raíces se procedió a subdividir en 10 partes iguales las sub-parcelas de 250 m² quedando cada una de estas partes con medidas de 5 m x 5 m (25 m²), una vez delimitada se procediendo a lanzar al azar un cuadrante de

madera con medidas de 0.5 m x 0.5 m (0.25 m²), en el lugar donde cayó el cuadrante se recolecto todas las raíces que se encontraron dentro del cuadrante considerando diferentes profundidades de 0 a 0,1 metros; 0,1 a 0,2 metros y 0,2 a 0,3 metros, teniendo 10 muestras por cada sub-parcela, haciendo un total de 150 muestras de todas las sub-parcelas muestreadas, de igual manera de procedió a depositar las raíces recolectadas en bolsas de plástico, debidamente etiquetadas para ser llevadas al laboratorio para determinar el peso fresco, el peso seco para la cual se utilizó una balanza analítica y una estufa, haciendo los cálculos respectivo. (McDicken, 1997).

3.5.2.7. Procesamiento de las muestras para estimación de carbono del suelo y densidad aparente

Las muestras de suelo colectadas de los suelos asociados a las matas de bambú, fueron secadas al aire libre, bajo sombra por un espacio de 48 a 72 horas; utilizando el método de (Walkley y Black, 1934), se procedió a la estimación de carbono del suelo y mediante el análisis en el laboratorio se estimó el porcentaje de materia orgánica (%MO).

Para el cálculo de la densidad aparente del suelo, de las muestras colectadas con la ayuda de un cilindro de metal con volumen conocido, fueron colocadas en papel y llevadas a una estufa a 70 °C temperatura de por un periodo de 24 a 48 horas de aproximación hasta obtener la constantineidad de pesos (ICRAF, 2009).

3.5.2.8. Procesamiento de las muestras para estimación de carbono en hojarasca

De las muestras de hojarasca recolectada previamente etiquetada se procedió a obtener el peso fresco también conocido como peso húmedo, para la cual se utilizó una balanza analítica digital, de esta se separó una parte y se lo coloco en una bolsa de papel para ser llevada a la estufa a 70 °C de temperatura por un tiempo de 24 a 48 horas, pesándolo posteriormente obteniendo el peso seco de cada muestra y con estos datos por diferencia de pesos se estimó la cantidad de biomasa de hojarasca. (ICRAF, 2009).

3.5.2.9. Procesamiento de las muestras para estimación de carbono en raíces

De las muestras de las raíces recolectadas se procedió a retirar las impurezas es decir las partículas de suelo que se encontraban aun adheridas a estas, luego fueron pesadas, obtenido el peso húmedo de las raíces, también conocido como peso fresco de

las raíces, de esta se separó una parte y se lo colocó en una bolsa de papel para ser llevada a la estufa a 70 °C de temperatura por un tiempo de 24 a 48 horas, pesándolo posteriormente obteniendo el peso seco de cada muestra y con estos datos por diferencia de pesos se estimó la cantidad de biomasa de las raíces. (ICRAF, 2009).

3.5.2.10. Cálculo para estimación de carbono del suelo y densidad aparente

Utilizando la fórmula de Walkley y Black (1934) e ICRAF (2009) se determinó el carbono orgánico presente en el suelo.

- a) La fórmula para determinar densidad aparente fue la siguiente:

$$Da = PSS/VC$$

Donde:

Da : Densidad aparente (g/cc)

PSS : Peso seco del suelo

VC : Volumen del cilindro

La fórmula para determinar el volumen del cilindro fue la siguiente:

$$VC = \pi * r^2 * h$$

Donde:

VC : Volumen del cilindro (cc)

π : 3,1416

r : radio del cilindro (cm)

h : altura del cilindro (cm)

- b) La fórmula utilizada para el cálculo del peso de volumen del suelo fue la siguiente:

$$PVs = Da * P * 10000$$

Donde:

PVs : Peso de volumen de suelo (t ha⁻¹)

Da : Densidad aparente (g/cc)

P : Profundidad del suelo (m)

1000 : Factor

- c) La fórmula utilizada para el cálculo del porcentaje de carbono orgánico fue la siguiente:

$$\%C = 0.58 * \%MO$$

Donde:

%C : Porcentaje de carbono orgánico

0.58 : Factor

%MO: Porcentaje de materia orgánica

- d) La fórmula utilizada para el cálculo del carbono orgánico del suelo fue la siguiente:

$$COS = PVs * P * 10000$$

Donde:

COS : Carbono orgánico del suelo (t ha⁻¹)

PVs : Peso de volumen de suelo

P : Profundidad del suelo

10000: Factor

- Cálculo para estimación de carbono en hojarasca

La fórmula utilizada para la estimación de carbono orgánico en hojarasca fue la siguiente: (ICRAF, 2009).

$$COH = BH * 0.5$$

Donde:

COH : Carbono orgánico de hojarasca (t ha⁻¹)

BH : Biomasa en hojarasca

0.5 : Factor

La fórmula utilizada para estimar la biomasa en hojarasca fue la siguiente:

$$\bar{x} P S$$

$$BH = \left(\frac{\bar{x} P S}{x P H} * PFT \right) * 40$$

Donde:

BH : Biomasa en hojarasca (t ha⁻¹)

$\bar{x}PS$: Media del peso seco

$\bar{x}PH$: Media del peso húmedo

PFT : Peso fresco total

40 : Factor

- Cálculo para estimación de C en raíces

La fórmula utilizada para la estimación de carbono orgánico de raíces fue la siguiente. (ICRAF, 2009):

$$COR = BR * 0.5$$

Donde:

COR: Carbono orgánico de raíces (t ha⁻¹)

BR : Biomasa en hojarasca

0.5 : Factor

La fórmula utilizada para estimar la biomasa en raíces fue la siguiente:

$$BR = (PS * Vt) / Am * 1000$$

Donde:

BR : Biomasa radicular (t ha⁻¹)

PS : Peso seco de la muestra (kg)

Am : Área de la muestra (m²)

Vt : Volumen total (m³/ha⁻¹)

1000 : factor

3.5.3. Determinar las diferencias significativas de las características físicas y químicas en los suelos asociados al desarrollo de *Guadua angustifolia* en una distribución horizontal a 2, 5 y 10 metros de distancia de la mata

Para determinar las diferencias estadísticas significativas de las características físicas y químicas del suelo y asociados al desarrollo del bambú en una distribución horizontal a 2, 5 y 10 metros de distancia de la mata, se realizaron el análisis de

regresión y correlación simple, basado en los siguientes modelos matemáticos (Calzada, 1996).

Ecuación de regresión

$$Y_i = a + bX_i + \varepsilon_i$$

Coefficiente de correlación

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2}}$$

Asimismo; Se utilizaron la prueba estadística r para analizar la relación entre dos variables medidas en un nivel por intervalos o de razón (Hernández et al., 2014).

El coeficiente r de Pearson puede variar de -1.00 a + 1.00, donde:

-1.00 = correlación negativa perfecta. (“A mayor X, menor Y”, de manera proporcional. Es decir, cada vez que X aumenta una unidad, Y disminuye siempre una cantidad constante.) Esto también se aplica “a menor X, mayor Y”.

-0.90 = Correlación negativa muy fuerte.

-0.75 = Correlación negativa considerable.

-0.50 = Correlación negativa media.

-0.25 = Correlación negativa débil.

0.00 = No existe correlación alguna entre las variables.

+0.10 = Correlación positiva muy débil

+0.25 = Correlación positiva débil.

+0.50 = Correlación positiva media.

+0.75 = Correlación positiva considerable.

+0.90 = Correlación positiva muy fuerte.

+1.00 = Correlación positiva perfecta.

Los datos se procesaron mediante el empleo del software SPSS Statistics 21, para encontrar el modelo estadístico de ajuste de datos.

Debido a que los valores de las características físicas y químicas serán variables, se realizará la transformación de datos de las características físicas y químicas a raíz cuadrada + 1 para los suelos asociados al desarrollo del bambú en una distribución horizontal a 2, 5 y 10 metros de distancia de la mata y raíz cuadrada + 0.5 para las características físicas y químicas de los suelos.

Los pasos que se siguieron fueron:

- Prueba de normalidad, con la finalidad de aceptar o rechazar la hipótesis nula (H_0 = Los datos provienen de una distribución normal) y aceptar o rechazar la hipótesis alternante (H_a = Los datos NO provienen de una distribución normal), si es que la significancia asintótica bilateral (p-valor) es mayor a 0.05 entonces se acepta la hipótesis nula.
- Análisis de varianza, se realizará a las características físicas y químicas de los suelos asociados al desarrollo del bambú en una distribución horizontal a 2, 5 y 10 metros de distancia de la mata a una significancia estadística de 0.05.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización física y química de los suelos asociados al desarrollo de *Guadua angustifolia*, en una distribución horizontal a 2, 5 y 10 metros de distancia de la mata

4.1.1. Caracterización física del suelo asociados al desarrollo de *Guadua angustifolia*

Se muestra (tabla 16) tres clases texturales lo cual es: Arena Franca que se considera textura gruesa, Franco Arcillo Arenoso es considerado textura fina y suelo de clase textural Franco Arenoso que se considera suelos textura modernamente gruesa y asimismo suelos de textura este sistema de clasificación y considerando además nuestros resultados, vemos que se encuentran de acuerdo a lo mencionado por Castellanos (2000) quien lo agrupa en 3 grupos texturales más amplios, los cuales son: Suelos de Textura Fina, Suelos de Textura Media, Suelos de Textura Gruesa, en donde la variación en estas clases texturales viene a ser la composición y los porcentajes presentes de arena, arcilla y limo

En los suelos de textura gruesa tal como nos indica Castellano (2000), son suelos que en su estructura contiene mayor porcentaje de arena con más de 50% y con menos del 20% de arcillas, donde las clases texturales que conforman este grupo son de arena, arena franca y franco arenoso. Y dado que estos tipos de suelo presentan poros grandes, tienen baja capacidad para retener agua, y nutrientes, ya que el tamaño de porosidad facilita el drenaje y la lixiviación de estos y que sería una limitante en la productividad, en nuestro análisis se reporta una sola muestra con esta clase textural, siendo la mayor cantidad de muestras que presentan clase textural moderadamente gruesa, que se caracteriza por presentar poros un poco más pequeños que facilitan un buen drenaje del suelo. Existe un grupo de muestra que nos dan como resultados una clase textural moderadamente fina que se caracteriza como nos indica Castellano (2000) estos suelos se caracterizan por presentar más de 40% de arcilla, con más de 60% de lino, estos suelos son moldeables y adheribles a los dedos, considerando que en los suelos limosos tienen menor adherencia y son menos moldeables, los suelos de este tipo se caracterizan porque el alto contenido de nutrientes y una alta capacidad de retención de agua, además de presentar mayor fertilidad natural, almacenando mayor cantidad de materia orgánica, sin embargo, el manejo de estos suelos requiere de cuidados pues se compactan fácilmente cuando se cultivan en condiciones de alta humedad, acá se coincide con Castellano (2000) pues en las apreciaciones de campo se puede ver que los suelos relacionados con el

crecimiento y desarrollo de las matas de bamba, en los espacios donde se realizó el muestreo crece escasa vegetación.

Tabla 16. Análisis de suelos para la clase textural de las 5 plantas de *Guadua angustifolia* a diferentes distancias de muestreos a 2 m, 5 m y 10 m.

<i>Guadua angustifolia</i>		Análisis mecánico			Textura	Calificativo
		Arena	Arcilla	Limo		
N° de mata	Distancia del muestreo (m).	%	%	%		
1	2 m	65	16	19	Franco Arenoso	Textura Moderadamente gruesa
	5 m	61	20	19	Franco Arenoso	Textura Moderadamente gruesa
	10 m	57	26	17	Franco Arcillo Arenoso	Textura Moderadamente Fina
2	2 m	59	22	19	Franco Arcillo Arenoso	Textura Moderadamente Fina
	5 m	59	22	19	Franco Arcillo Arenoso	Textura Moderadamente Fina
	10 m	52	30	17	Franco Arcillo Arenoso	Textura Moderadamente Fina
3	2 m	61	22	17	Franco Arcillo Arenoso	Textura Moderadamente Fina
	5 m	65	16	19	Franco Arenoso	Textura Moderadamente gruesa

	10 m	67	16	17	Franco Arenoso	Textura Moderadamente gruesa
	2 m	65	18	17	Franco Arenoso	Textura Moderadamente gruesa
4	5 m	71	14	15	Arena Franca	Textura Gruesa
	10 m	69	14	17	Franco Arenoso	Textura Moderadamente gruesa
	2 m	65	18	17	Franco Arenoso	Textura Moderadamente gruesa
5	5 m	69	16	15	Franco Arenoso	Textura Moderadamente gruesa
	10 m	65	20	15	Franco Arenoso	Textura Moderadamente gruesa

Como se puede observar en la tabla 17 acá se muestra los promedios del análisis de las propiedades físicas de los suelos relacionados con las matas de *Guadua angustifolia* y se puede apreciar de acuerdo al resultado que como nos indica Ibarra et al (2008); que nos menciona que un suelo es considerado de textura gruesa o de textura arenosa cuando el porcentaje de arena supera el 44 por ciento, siendo en esta clase textural una característica principal su elevada capacidad de infiltración de agua; por ende, con una escasa capacidad de retención hídrica, en donde es frecuente la lixiviación de los nutrientes, también nos indica que un suelo es arcilloso o de textura fina cuando el porcentaje de arcilla es tan solo de 20 %, en estos suelos se caracterizan por tener una gran capacidad de retención de agua, pero que al secarse en las épocas de verano forma una capa dura e impermeable, ya que tiene baja capacidad de infiltración, y también nos hace una apreciación que entre estos dos rangos está el suelo franco o de textura media, que es considerado el que tiene la textura ideal, para la realización de actividades agrícolas; es en esta clase textural en donde las tres fracciones de suelos se encuentran en porcentajes equilibrados, con un 40 – 45 % de arena, un 30 – 35 % de limo y un 25 % de arcilla, para el trabajo los resultados obtenidos nos reportan una textura moderadamente fina, formado por suelos franco arenoso, que como se puede apreciar presenta muy buena capacidad de infiltración de agua, pero con poca capacidad de

retención hídrica, bajo estas características físicas el suelo relacionado con el crecimiento y desarrollo de las matas de *Guadua angustifolia* presenta limitantes para el crecimiento y desarrollo de otras plantas, así como también para la descomposición de la materia orgánica.

Tabla 17. Promedios Análisis Mecánico de arena, limo y arcilla de los suelos muestreados.

<i>Guadua angustifolia</i>	Análisis mecánico			Clase Textural	Calificativo
	Arena	Arcilla	Limo		
Distancia del muestreo (m).	%	%	%		
	Promedio				
2 m	63	19.2	17.8	Franco Arenoso	Textura Moderadamente gruesa
5 m	65	17.6	17.4	Franco Arenoso	Textura Moderadamente gruesa
10 m	62	21.2	16.6	Franco Arcillo Arenoso	Textura Moderadamente Fina
X	63	19	17	Franco Arenoso	Textura Moderadamente gruesa
DS	1.53	1.80	0.61	.....	.....
CV	2.41	9.33	3.54	.....	.....
ANVA	0.99999345				

X: promedio; DS: desviación estándar; CV: coeficiente de variación

Al respecto de los resultados obtenidos podemos observar que las distancias entre 2 y 5 m presentan una clase textural Franco Arenoso con un calificativo de moderadamente gruesa y a 10 m con una clase textural Franco Arcillo Arenoso lo cual se califica Textura Moderadamente fina, al promediar podemos obtener como resultado que los suelos de las matas donde se desarrolla la especie *Guadua angustifolia* presentan una textura de Franco arenosa con un calificativo de textura moderadamente gruesa, es factible mencionar también que existe una mayor dispersión en la cantidad de arcilla de los suelos y por ende un mayor coeficiente de variación en el elemento antes mencionado.

4.1.2. Caracterización química del suelo asociado al desarrollo del bambú

En la tabla 18 se muestran los resultados del análisis del pH. de los suelos relacionados con las matas de *Guadua angustifolia* a diferentes distancias de 2, 5, 10 m. que como se puede apreciar están entre un rango de 3.07 pH a 4.96 pH estando calificados como extremadamente ácido a muy fuertemente ácido, según Molina (2016) los suelos con valores de pH se encuentra entre valores menor de 4.5 son suelos considerados, como extremadamente ácido estos suelos tienen condiciones muy desfavorables para cualquier cultivo, además también hay suelos con pH de 4.5- 5.0 en estos suelos tienen calificación, como muy fuertemente ácido y presentan posible toxicidad por Al^{3+} y Mn^{2+} , fijación de P, deficiencia de Ca y Mg., esta debe ser una de las razones por lo que alrededor de las matas de bambú hay poco desarrollo de vegetación.

Tabla 18. Valores de pH de los suelos a la distancia de 2, 5, 10 m calificación y sus efectos.

Datos de la muestra de suelo		PH	
<i>Guadua angustifolia</i>	Distancia de muestreo a		Calificativo
	la mata de <i>G. angustifolia</i> (m).	01:01	
1	2 m	4.15	Extremadamente ácido
	5 m	3.95	Extremadamente ácido
	10 m	4.43	Extremadamente ácido
2	2 m	3.07	Extremadamente ácido
	5 m	4.42	Extremadamente ácido
	10 m	4.16	Extremadamente ácido
3	2 m	4.11	Extremadamente ácido
	5 m	4.19	Extremadamente ácido
	10 m	4.87	Muy fuertemente ácido
4	2 m	4.40	Extremadamente ácido
	5 m	4.96	Muy fuertemente ácido
	10 m	4.36	Extremadamente ácido
5	2 m	3.99	Extremadamente ácido
	5 m	4.08	Extremadamente ácido
	10 m	4.18	Extremadamente ácido

En la tabla 19 se muestran los resultados del promedio del pH del suelo de los muestreos a diferentes distancias de 2, 5, 10 m de cada mata de *Guadua angustifolia* y como se pudo observar que los promedios se encuentran en un rango de 3.9 a 4.4 donde nos indica que son extremadamente ácidos, y como indica Molina (2016), son suelos con condiciones desfavorable para el desarrollo de especies cultivadas, es decir el pH del suelo afecta las condiciones para que la especie crezca y se desarrolle en condiciones normales.

En general podemos observar (Tabla 19) que los valores obtenidos por distancia a la mata de *Guadua angustifolia* presenta un suelo con pH extremadamente ácido, al respecto Sánchez (2007) refiere que esta es una propiedad química muy importante del suelo, como medio destinado al cultivo de plantas, tiene influencia indirecta en los procesos químicos, disponibilidad de nutrientes, procesos biológicos y actividad microbiana, por lo que el suelo donde se desarrolla esta especie tiene condiciones mínimas para tener un crecimiento óptimo y además la variación tiene un porcentaje mínimo de 6.30% indicando que por más distancia que exista las condiciones son tan pobres en cada una de las distancias fijadas como base de comparación.

Tabla 19. Valores del promedio del pH de los suelos a la distancia de 2, 5, 10 m calificativo y sus efectos.

Datos de la muestra de suelo	pH	Calificativo
Distancia del muestreo a la mata de <i>Guadua angustifolia</i> (m).	01:01	Promedio
2 m	3.9	Extremadamente ácido
5 m	4.3	Extremadamente ácido
10 m	4.4	Extremadamente ácido
X	4.20	Extremadamente ácido
DS	0.26	.....
CV	6.30	.....
ANVA	0.3533125	

X: promedio; DS: desviación estándar; CV: coeficiente de variación

En la tabla 20 se puede observar los niveles de materia orgánica presente en los suelos en una distribución horizontal a 2, 5, y 10 metros de distancia del borde de la mata, notándose que estos se encuentran mayormente en un nivel bajo, tendiendo hacia un nivel medio, con valores que van desde 0.75% hasta 2.61% y de acuerdo a Quintana et al, (1983), menciona que los valores menores de 2 % de materia orgánica se considera nivel bajo y que lo valores de 2% a 4% se considera nivel medio y que valores mayores de 4% nivel alto, Buckman (1985), para los suelos muestreados de los espacios donde se desarrolla y

crecen las matas de bambú los únicos aportes de materia orgánica serían la hojarasca que cae de las partes altas distribuyéndose mayormente un poco alejados del centro de la mata, y se considera además que las raicillas son fuente de aporte de materia orgánica, siendo el viento el que influye en la distribución de la hojarasca, además la poca humedad y el pH son factores que influyen en la degradación de la materia orgánica para ser incorporados al suelo.

FAO (2015), Marín et al. (2017), considera que la materia orgánica del suelo, influye en el pH del suelo siendo amortiguador entre pH ligeramente ácido, neutro y alcalino, es considerado además como aportador de nutriente principalmente CO₂, NH₄⁺, NO₃⁻, SO₄⁻, y es por la descomposición de la materia orgánica y que sirve a las plantas para su desarrollo y crecimiento, aportando principalmente CO₂, NH₄⁺, NO₃⁻, SO₄⁻, incrementando a su vez la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo, del 20 a 70 %, atribuyéndose a la materia orgánica la mejora en la CIC, pero teniendo las hojas de *Guadua angustifolia* alto contenido de sílice su descomposición se hace más lenta teniendo poca influencia en la mejora del suelo.

Tabla 20. Resultados de materia orgánica de los suelos en 5 plantas de *Guadua angustifolia* a distancias de 2, 5, 10 metros de distancia de cada mata.

Datos de la muestra de suelo		M.O.	Interpretación
Nº mata de <i>Guadua angustifolia</i>	Distancia del muestreo a la mata de <i>Guadua angustifolia</i> (m).	%	
1	2 m	0.81	Nivel Bajo
	5 m	1.28	Nivel Bajo
	10 m	1.45	Nivel Bajo
2	2 m	1.38	Nivel Bajo
	5 m	1.45	Nivel Bajo
	10 m	1.88	Nivel Bajo
3	2 m	1.69	Nivel Bajo
	5 m	1.35	Nivel Bajo
	10 m	2.37	Nivel Medio
4	2 m	1.95	Nivel Bajo
	5 m	1.35	Nivel Bajo
	10 m	0.76	Nivel Bajo
5	2 m	2.33	Nivel Medio
	5 m	2.61	Nivel Medio
	10 m	2.21	Nivel Medio

De acuerdo con lo mostrado en la Tabla 21 se tiene que, considerando los promedios de los resultados para los valores de la materia orgánica que se encuentra presente en los suelos muestreado de las 5 matas de *Guadua angustifolia* a distancias de 2 m., 5 m., y 10 metros de distancia de cada mata, observamos que estos presentan un nivel bajo de Materia orgánica, que nos indica en forma general que el aporte de materia orgánica a través de la caída de las hojas y tallos en descomposición presentan valores bajos referente a los valores en el contenido de materia orgánica del suelo y que estos a su vez indican que estos niveles bajos de materia orgánica influyen en los valores del pH del suelo donde se desarrollan estas matas de *Guadua angustifolia*, interpretando los resultados podemos citar de acuerdo con Zavaleta (1992), quien nos indica que de la calidad y cantidad de materia orgánica depende de la buena estructura de los suelos, donde un suelo arcilloso con una estructura fina, puede mejorar cuando se le adiciona materia orgánica en distintas etapas de descomposición, así como un suelo arenoso demasiado suelo con partículas grandes se puede mejorar con la adición de compost, o también con materia orgánica en proceso de descomposición, mejorando además su estructura microbiana.

Tabla 21. Valores promedios de materia orgánica de los suelos muestreados a 2 m 5 m 10 m de distancia de cada mata de *Guadua angustifolia*.

Datos de la muestra de suelo	M.O.	
Distancia del muestreo a la mata de bambú (m).	%	Interpretación
2 m	1.6	Nivel bajo
5 m	1.6	Nivel bajo
10 m	1.7	Nivel bajo
X	1.6	Nivel Bajo
DS	0.06	.....
CV	3.53	.....
ANVA	0.9149463	

X: promedio; DS: desviación estándar; CV: coeficiente de variación

En general observamos observar que en cuanto el contenido de materia orgánica los suelos donde se desarrollan las matas de *Guadua angustifolia* tienen un nivel bajo es decir la especie no aporta materia orgánica o su aporte es mínimo.

4.2. Estimar la cantidad de CO₂ almacenado de los suelos asociados al desarrollo del *Guadua angustifolia*

Se puede observar (Tabla 22) respecto a los valores en el carbono orgánico almacenado en el suelo asociado al desarrollo del bambú a 2, 5 y 10 metros de distancia de la

mata, apreciando que a distancias de 2, 5 y 10 metros de la mata de *Guadua angustifolia*, donde a una distancia de 2 metros de la mata tiene una capacidad de almacenamiento de 26,55 t C ha⁻¹, seguido 5 metros con una estimación de 26,16 t C ha⁻¹ y por último, a 10 metros de la mata presenta una estimación más baja con 18,74 t C ha⁻¹, encontrando que a diferentes medidas de la mata de *Guadua angustifolia* presenta una capacidad de almacenamiento de carbono orgánico del suelo de manera diferente.

Estos datos estimados (tabla 22 y figura 6), fueron menores a lo que obtuvo Rosero (2019) en su estudio sobre la valoración de COS en ecosistemas de páramo en una microcuenca de Ecuador donde los valores de COS fueron de 109,51 Mg C ha⁻¹ en páramo; 136,92 Mg C ha⁻¹ en cultivos; 152,18 Mg C ha⁻¹ en pastizales y 90,37 Mg C ha⁻¹ donde la diferencia es mayor en comparación con los datos que fueron obtenidos; sin embargo, Acosta et al. (2020) determinó el COS en una plantación de especies forestales en México, obtuvo carbono almacenado en el suelo con cultivo de parota un total de 73,94 Mg C ha⁻¹ y en el cultivo de teca un total de 45,63 Mg C ha⁻¹ siendo el cultivo de teca que menor valor de C en el suelo obtuvo. Mientras que Contreras et al. (2020) al evaluar el COS acumulado en sistemas silvopastoriles en la localidad del Caribe-Colombia donde el valor determinado fue de 65,1 t C ha⁻¹ a comparación de los sistemas con pastura ganadero tradicional que estimaron un total de 38 t C ha⁻¹ en ambos casos estos valores son mayores en comparación del almacenamiento de carbono encontrado en el suelo asociado al desarrollo del bambú que fue de 22,55 t C ha⁻¹.

Tabla 22. Promedios de carbono orgánico del suelo asociado al desarrollo de *Guadua angustifolia*.

Distancia mata de <i>G. angustifolia</i> (m)	Repetición	Suelo (t C ha⁻¹)
2 m	3	26,55
5 m	3	26,16
10 m	3	18,74
X	3	23,8
DS	.....	22,9
CV	.....	21,8

X: promedio; DS: desviación estándar; CV: coeficiente de variación

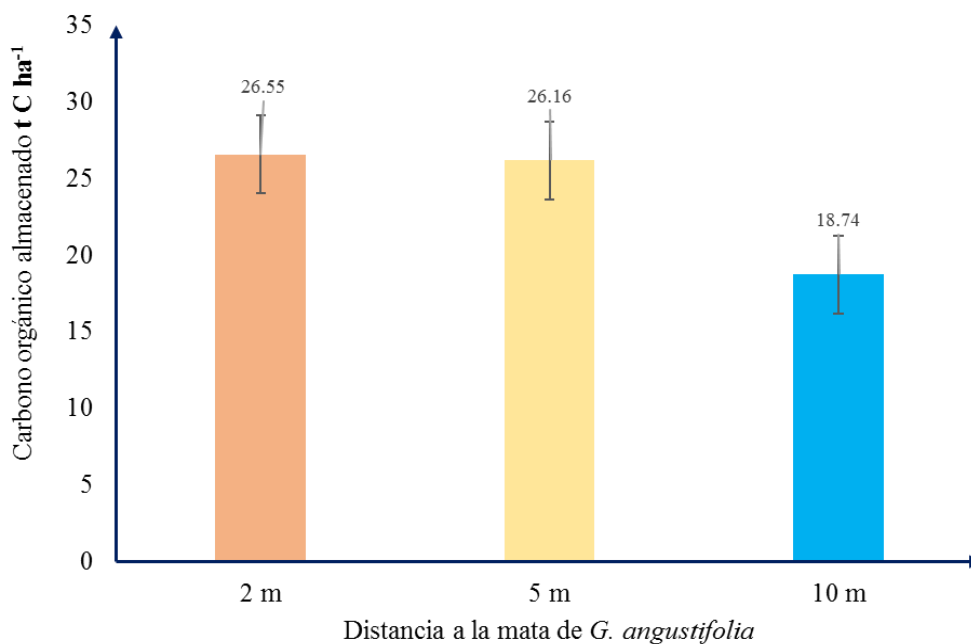


Figura 6. Carbono orgánico almacenado por distancia de mata de *Guadua angustifolia*.

Asimismo, Chávez (2018) determinó el potencial de almacenamiento de C en bosques en Lambayeque, obteniendo resultados de carbono en el suelo con valores de 42,19 Mg C ha⁻¹, además adiciona que dichos bosques ayudan a la mitigación del cambio climático. Ampuero y Aponte (2020) estimaron el carbono almacenado en un juncal con Espadaña que es una planta acuática perenne que crece en el pantano de Villa en Lima donde el valor de stock de carbono encontrado en el suelo fue mayor en los primeros 10 cm con un total de 1120,70 Mg C ha⁻¹. Por otro lado, Dilas y Jiménez (2020) calcularon la captura de carbono en un bosque montano con neblinas en la ciudad de Cajamarca, donde el valor de COS fue de 108,97 t C ha⁻¹;

Según Quiñonez (2019) estudió el carbono secuestrado en la biomasa y suelos en dos ecotipos con cuatro densidades de siembra con cultivos de sacha inchi, encontrando no significativo en ambos casos, y se registró valores más altos de carbono en el suelo en ambos ecotipos a profundidades de 20 cm de 50,88 t C ha⁻¹ y 67,56 t C ha⁻¹, respectivamente. Distintos valores de carbono orgánico almacenado encontraron en la investigación realizada por López (2020) sobre el almacenaje de carbono en el suelo en plantaciones de bolaina blanca en la provincia de Leoncio Prado consideró los rangos de altura o gradientes altitudinales, la mayor capacidad de almacenamiento de carbono fue la gradiente altitudinal con variación de 500 msnm hasta 580 msnm con un total de 206,157 t C ha⁻¹, además determinó que mientras la gradiente altitudinal es menor entonces el COS incrementa.

4.2.1. Carbono orgánico de la hojarasca

Se muestra los resultados con respecto al carbono orgánico almacenado en hojarasca en el suelo asociado al desarrollo del *Guadua angustifolia*. a diferentes distancias 2, 5 y 10 metros de distancia de la mata, observando que a una distancia de 2 metros de la mata de *Guadua angustifolia*. presenta mayor promedio con un valor de 62,71 t C ha⁻¹, seguido de 5 metros con un valor medio de 28,48 t C ha⁻¹ y, por último, a una distancia de 10 metros de la mata presenta un valor medio de 2,43 t C ha⁻¹.

Tabla 23. Comparación de promedios de carbono orgánico en hojarasca del suelo asociado al desarrollo del *Guadua angustifolia*.

Distancia mata de <i>Guadua angustifolia</i> (m)	Repetición	Carbono en hojarasca (t C ha ⁻¹)
2 m	3	62,71
5 m	3	28,48
10 m	3	2,43
X	3	31.21
DS	.....	30.23
CV	.....	0.010

X: promedio; DS: desviación estándar; CV: coeficiente de variación

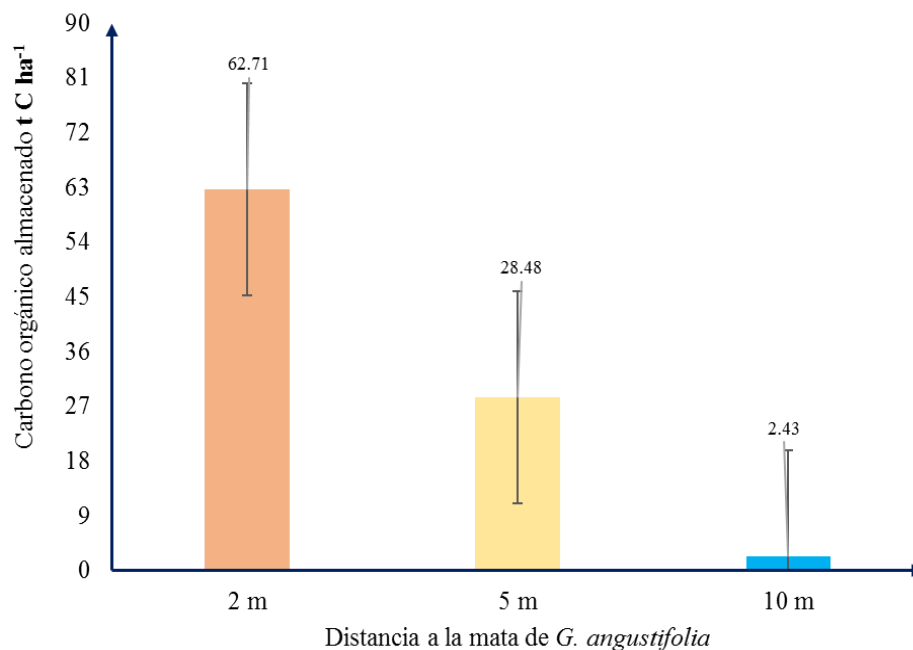


Figura 7. Carbono orgánico almacenado a nivel de hojarasca por distancia de mata de *Guadua angustifolia*.

Se observa en la Tabla 23 y figura 7, la estimación de carbono orgánico en hojarasca en el suelo asociado al desarrollo del *Guadua angustifolia*. con distancias de 2, 5 y 10 metros de la mata, a 2 metros de distancia de la mata de bambú presenta una capacidad de almacenamiento de 62,71 t C ha⁻¹, seguido de 5 metros con una estimación de 28,48 t C ha⁻¹ y, por último, a 10 metros de distancia de la mata presenta una estimación más baja con 2,43 t C ha⁻¹, según la prueba de Tukey a diferentes medidas de la mata de *Guadua angustifolia*. presenta una capacidad de almacenamiento de carbono orgánico del suelo de manera diferente.

Los datos estimados por Acosta et al. (2020) fueron diferentes ya que evaluó el carbono en el suelo, hierbas, arbustos y hojarasca en plantaciones forestales con teca y rosa morada I y II, melina y parota en México establecidos en 30 parcelas donde el valor total de carbono en hojarasca de las especies forestales fue: parota obtuvo 6,36 Mg C ha⁻¹, melina obtuvo 5,78 Mg C ha⁻¹, rosa morada II obtuvo 3,45 Mg C ha⁻¹, teca obtuvo 3,06 Mg C ha⁻¹ y rosa morada I obtuvo 2,89 Mg C ha⁻¹.

Los resultados fueron diferentes a comparación del trabajo de investigación ya que respecto al carbono en hojarasca en el suelo asociado al desarrollo del *Guadua angustifolia*. a 2 metros de distancia de la mata se estimó 62,71 t C ha⁻¹, resultando ampliamente diferente. Por otro lado, Dilas y Jiménez (2018) investigando sobre la captura de carbono en un bosque montano de Cajamarca determinó el valor de hojarasca con un total de 6,72 t C ha⁻¹, además, agrega que dicho bosque por estar en zona de neblina tiene alto porcentaje de materia orgánica; asimismo valores similares fueron encontrados por Zavala (2018) en tres sistemas agroforestales (SAF) con tres rangos de edades en Tingo María donde tuvieron los valores de 8,34 t C ha⁻¹ respecto al SAF con edades mayores a 16 años, un valor de 12,63 t C ha⁻¹ respecto al SAF con edades entre 8 y 16 años tuvo un valor de 9,67 t C ha⁻¹ y respecto al SAF con edades menores a 8 años tuvo un valor de 9,67 t C ha⁻¹, donde en este caso las edades influyen en la capacidad de almacenamiento de carbono en hojarasca. González (2018) investigó el carbono almacenado en café de dos edades relacionado a la gradiente altitudinal en la región Huánuco, donde el valor más alto de biomasa en hojarasca (BH) fue en la localidad de José María Ugarteche con 1400 msnm con plantaciones de café de 4 y 7 años, con un valor total de 25,72 t BH ha⁻¹ y 12,80 t BH ha⁻¹, respectivamente; asimismo, según el IPCC (2009) informa que el total de carbono orgánico en hojarasca es igual al 50% del total de la biomasa de hojarasca, dicho esto y según este criterio los valores de carbono orgánico en hojarasca en las plantaciones de café de 4 y 7 años son 11,36 t C ha⁻¹

y 6,4 t C ha⁻¹, respectivamente; asimismo, datos significativamente diferentes fueron obtenidos por López (2020) donde determinó el carbono orgánico en plantaciones de *Guazuma crinita* en cuatro gradientes altitudinales (GA) donde la mayor cantidad de carbono orgánico en hojarasca tuvo el intervalo con GA entre 500 y 580 msnm con un total de 0,049 t C ha⁻¹, en la GA entre 580 y 650 msnm un valor total de 0,045 t C ha⁻¹, en la GA entre 650 y 720 msnm un valor total de 0,044 t C ha⁻¹ y en la GA entre 720 y 800 msnm un valor total de 0,042 t C ha⁻¹ por lo que en este caso no tuvo diferencias significativas en los resultados.

4.2.2. Carbono orgánico en raíces

En la Tabla 24 se muestra los datos con respecto al carbono orgánico almacenado en las raíces del suelo asociado al desarrollo de *Guadua angustifolia*. a distancias de 2, 5 y 10 metros de distancia de la mata, donde los valores que a 2 metros de distancia de la mata de *Guadua angustifolia*. presenta mayor promedio con un valor de 9,92 t C ha⁻¹, seguido del SUT con cultivo de cacao con un valor medio de 4,12 t C ha⁻¹, el SUT con cultivo de teca tuvo un valor medio de 3,62 t C ha⁻¹, el SUT con cultivo de capirona tuvo un valor medio de 2,19 t C ha⁻¹ y, por último, el SUT con cultivo de arroz tuvo el valor medio más bajo de 2,43 t C ha⁻¹.

Tabla 24. Comparación de promedios de carbono orgánico en raíces.

Distancia mata de <i>Guadua angustifolia</i> (m)	Repetición	Carbono en raíces (t C ha⁻¹)
2 m	3	9,92
5 m	3	4,12
10 m	3	2,15
X	3	5.40
DS	.....	4.04
CV	.....	0.007

X: promedio; DS: desviación estándar; CV: coeficiente de variación

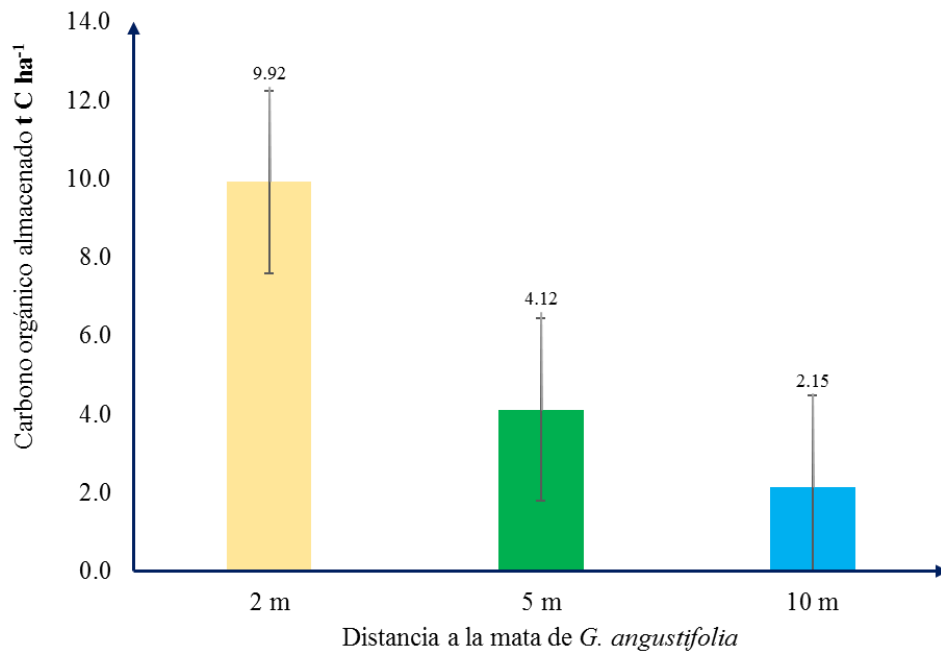


Figura 8. Carbono orgánico almacenado a nivel de las raíces por distancia de mata de *Guadua angustifolia*.

Se observa en la Tabla 24 y figura 8 la estimación de carbono orgánico en raíces en el suelo asociado al desarrollo del *Guadua angustifolia* a 2, 5 y 10 metros de distancia de la mata, donde a 2 metros de distancia de la mata de *Guadua angustifolia* presenta una capacidad de almacenamiento de 9,92 t C ha⁻¹, seguido de 5 metros con una estimación de 4,12 t C ha⁻¹ y por último, a 10 metros de distancia de la mata de bambú presenta una estimación más baja con 2,15 t C ha⁻¹, según las prueba de HSD Tukey (Tabla 24) a diferentes distancias de la mata del *Guadua angustifolia* presenta una capacidad de almacenamiento de carbono orgánico del suelo de manera diferente.

Resultados similares fueron encontrados por (Gómez et al., 2021) en México en su relación del carbono del suelo y la biomasa radicular en plantaciones de *Quercus* sp. (roble común) a diferentes edades, con un contenido de carbono radicular de 6,9 Mg C ha⁻¹ en los bosques con 10 años de edad a comparación de los bosques con 20 y 40 años de edad donde tuvo un valor de 3,9 Mg C ha⁻¹ en ambas edades, cabe resaltar que estos valores estimados son de raíces finas con profundidades de hasta 90 cm; sin embargo, a profundidades de hasta 15 cm el bosque con 40 años almacenó el 58,3% de C, seguido del bosque de 10 años con 49,1% y el bosque de 20 años obtuvo el 49%; además en profundidades radicales de 0-30 cm el bosque de 40 años mejoró a comparación de lo establecido con profundidades de hasta 15, cm, donde fue de 80,9%, que es seguido de

bosques con edad de 10 años con 79,8% y el menor porcentaje fue del bosque con edad de 20 años con 69,8%, teniendo irregularidad de almacenamiento de C respecto a la profundidad y la edad. Por otro lado, Contreras et al. (2020) en el Caribe de Colombia en sistemas silvopastoriles estimó el carbono en raíces finas donde el valor más alto presentó el sistema silvopastoril con árboles maderables con un valor de 2154,56 Kg C ha⁻¹ (equivale a 2,16 t C ha⁻¹), cabe señalar que la profundidad estudiada fue de hasta 30 cm, además destaca que en todos los sistemas silvopastoriles muestreados determinó que a mayor profundidad la biomasa radicular disminuye y por tanto el almacenamiento de carbono también disminuye. Ampuero y Aponte (2020) estimaron el carbono de un juncal establecido en el humedal de Villa en la ciudad de Lima, donde el valor de carbono en raíces corresponde a muestras realizadas en tres rangos de 0-10 cm, de 10-20 cm y de 20-30 cm, donde la mayor cantidad de carbono radicular en el rango de 0-10 cm fue en la zona incendiada del juncal con un valor de 39,25 g/m² (equivalente a 0,393 t C ha⁻¹), en el rango radicular de 10-20 cm de profundidad la mayor cantidad de C fue en la zona del juncal con crecimiento natural (zona no incendiada) con un valor de 0,483 t C ha⁻¹ y en el rango radicular de 20-30 cm encontró mayor cantidad de C en la zona incendiada del juncal con un valor de 0,62 t C ha⁻¹; asimismo, Gonzáles (2018) en Huánuco cuantificó el C respecto a las gradientes altitudinales donde en la localidad de Tupac Amaru que está a 1800 msnm encontró mayor almacenamiento de C en raíces en sistemas agroforestales (SAF) con cultivo de café con un valor estimado de 3,40 t C ha⁻¹ respecto al SAF con 7 años de instalación y 3,16 t C ha⁻¹ respecto al SAF con 4 años de instalación; sin embargo López (2020) en la provincia de Leoncio Prado determinó el almacenamiento de C en plantaciones de *Guazuma crinita* en diferentes altitudes, siendo el rango con altitudes de 500 a 580 msnm que mayor carbono radicular almacena con un valor de 0,035 t C ha⁻¹.

4.3. Determinación de las diferencias significativas en sus características físicas y químicas en los suelos asociados al desarrollo de *Guadua angustifolia*, en una distribución horizontal a 2, 5 y 10 metros de distancia de la mata

Observamos en el Tabla 25 se muestra los resultados de los porcentajes NPK de los suelos muestreados y relacionados con el crecimiento y desarrollo de las matas de *Guadua angustifolia* a distancias de 2, 5, 10 m de las 5 evaluadas las mismas que muestran un nivel de fertilidad bajo, coincidiendo en el análisis con lo que manifiestan, Huamani & Mansilla (1995), que nos indican que la disponibilidad de fósforo es baja en pH bajos (ácidos) y esto acompañada de altas precipitaciones hace que el fósforo precipite como fosfato insoluble de hierro y aluminio debido a su alta reactividad asimismo, menciona que la

fertilidad es alta cuando todos los contenidos de materia orgánica, nitrógeno, potasio y/o fosforo son altos, y que una fertilidad es media cuando todos los contenidos de materia orgánica, nitrógeno, potasio y/o fosforo son altos, y que una fertilidad es baja es cuando por lo menos uno de los contenidos de materia orgánica, nitrógeno, potasio y/o fosforo es bajo, estos resultados está muy relacionados con el aporte de materia orgánica, que después de un proceso de descomposición aportan al suelos los diferentes nutrientes minerales, y teniendo que los suelos de influencia alrededor de las matas de *Guadua angustifolia*, no tienen otro aporte de materia orgánica más que las hojarasca y lo que aporta el sistema radicular es que se tiene estos bajos resultados.

Tabla 25. Valores de N, P y K de los suelos a la distancia de 2, 5, 10 m de muestreo y calificativo de nivel de fertilidad.

Muestreo del suelo		N	P	K	Nivel de fertilidad
		Disponibile			
N° de mata de <i>Guadua angustifolia</i>	Distancia a la mata de <i>Guadua angustifolia</i> (m)	%	%	%	
1	2 m	0.04	4.11	109.95	Fertilidad baja
	5 m	0.06	3.35	94.96	Fertilidad baja
	10 m	0.07	2.98	69.97	Fertilidad baja
2	2 m	0.07	3.99	155.93	Fertilidad baja
	5 m	0.07	3.23	124.95	Fertilidad baja
	10 m	0.09	3.23	84.96	Fertilidad baja
3	2 m	0.08	4.24	193.91	Fertilidad baja
	5 m	0.07	5.12	125.67	Fertilidad baja
	10 m	0.12	6.26	99.96	Fertilidad baja
4	2 m	0.1	4.62	134.94	Fertilidad baja
	5 m	0.07	5.25	89.96	Fertilidad baja
	10 m	0.04	3.86	59.97	Fertilidad baja
5	2 m	0.12	6.01	164.93	Fertilidad baja
	5 m	0.13	5.38	121.52	Fertilidad baja
	10 m	0.11	5.63	92.66	Fertilidad baja

De acuerdo a la Tabla 26 se muestran el resultado del promedio de valores de NPK de los suelos analizados y relacionados con el crecimiento y desarrollo de las 5 matas de *Guadua angustifolia* muestreados a 2 m., 5 m., y 10 metros de distancia de cada mata se tiene que estos presentan nivel de fertilidad baja, que puede ser explicada además del poco aporte de materia orgánica que tienen estos suelos, a los requerimiento de nutriente de las matas de *Guadua angustifolia* que en el momento del desarrollo de las nuevas cañas extraen los nutrientes del suelo quedando estos con niveles bajos y que la incorporación de nutrientes además es lenta por la lignina que tiene las hojas.

Tabla 26. Valores de N, P y K promedio de los suelos a la distancia de 2, 5, 10 m de muestreo y calificativo de nivel de fertilidad.

Distancia del muestreo a la mata de <i>Guadua angustifolia</i> (m).	N	P	K	Nivel de fertilidad
	Disponibile			
	%	%	%	
2 m	0.082	4.59	151.93	Fertilidad baja
5 m	0.080	4.47	111.41	Fertilidad baja
10 m	0.086	4.392	81.50	Fertilidad baja
X	0.08	4.48	114.95	Fertilidad baja
DS	0.003	0.10	35.35	.....
CV	3.70	2.22	30.75	.....
ANVA	0.95056	0.94078	0.00141	

X: promedio; DS: desviación estándar; CV: coeficiente de variación

Se muestra en la tabla 27 y 28 los valores de CIC + cationes cambiabiles de las muestras de suelos relacionados con el crecimiento y desarrollo de las matas de *Guadua angustifolia*, a 2 m., 5 m., y 10 m de distancia, estando entre los rangos 6.05 a 14.38 que nos infiere un nivel de CIC, con nivel medio a nivel alto, y que de acuerdo a lo reportando por Bazán (1996) en donde considera nivel Muy bajo cuando es menos de 5, nivel Bajo cuando esta entre 5 a 10, nivel Medio cuando esta entre 10 a 15, nivel Alto cuando esta entre 15 a 20 y Muy alto cuando tiene más de 20.

Tabla 27. Valores de CIC+ cationes cambiabiles de los suelos a la distancia de 2, 5, 10 m de muestreo de la mata de *Guadua angustifolia*.

Datos de la muestra de suelo		Cambiabiles Cmol(+)/kg							Interpretación
Nº mata de <i>Guadua angustifolia</i>	Distancia muestreo <i>Guadua angustifolia</i> (m).	CIC	Ca	Mg	K	Na	Al	H	
1	2 m	11.41	3.29	0.62	0	0	1.75	5.75	Nivel Alto
	5 m	10.69	2.34	0.45	0	0	1.48	6.42	Nivel Alto
	10 m	8.11	2.23	0.38	0	0	2.37	3.13	Nivel Medio
2	2 m	8.55	1.83	0.33	0	0	1.49	4.91	Nivel Medio
	5 m	8.94	1.62	0.32	0	0	1.56	5.44	Nivel Medio
	10 m	10.29	1.5	0.29	0	0	1.48	7.02	Nivel Alto
3	2 m	10.73	1.8	0.33	0	0	1.55	7.05	Nivel Alto
	5 m	9.01	1.45	0.27	0	0	1.66	5.64	Nivel Medio
	10 m	9.25	2.28	0.37	0	0	1.81	4.79	Nivel Medio
4	2 m	12.67	4.77	0.90	0	0	1.54	5.46	Nivel Alto
	5 m	14.38	4.50	0.88	0	0	1.58	7.42	Nivel Alto
	10 m	6.86	4.12	0.74	0	0	1.97	0.03	Nivel Medio
5	2 m	7.98	2.68	0.5	0	0	4.26	0.54	Nivel Medio
	5 m	6.05	2.74	0.52	0	0	2.7	0.1	Nivel Medio
	10 m	7.59	4.23	0.86	0	0	2.38	0.12	Nivel Medio

Considerando que en los análisis de los mismos suelos se reporta niveles bajos de pH, que son considerados como suelos muy fuertemente ácidos, a extremadamente ácidos, es acá que el Al³⁺ juega un papel importante en el complejo de intercambio catiónico del suelo, constituyendo junto con el H⁺ la acidez intercambiable del mismo, haciendo que ciertos nutrientes del suelo no sean absorbidos por las plantas coincidiendo con FAO, (2008), que considera que a partir de valores bajos de pH, el Al³⁺ juega un papel muy importante en

el intercambio catiónico del suelo, constituyendo junto con el H⁺ la acidez intercambiable del mismo, y que la capacidad de intercambio catiónico depende de la cantidad y tipo de coloides que tiene el suelo y se expresa en cmol (+) kg⁻¹ de suelo o en meq (100 g de suelo)⁻¹, ambas unidades son consideradas numéricamente iguales. Se tiene también las afirmaciones de Mckean, (1993), que nos indica que la Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva, es la suma de los cationes calcio, potasio, sodio, magnesio, aluminio (Mckean, 1993). CICE= (Ca⁺²) + (Mg⁺²) + (K⁺) + (Na⁺) + (Al⁺³), así mismo nos indica que la materia orgánica presente en el suelo contribuye a la capacidad de intercambio catiónico de los suelos, especialmente cuando está en alto estado de descomposición.

Tabla 28. Valores promedio de CIC y microelementos a distancias de 2, 5, 10 m de muestreo.

Distancia muestreo <i>Guadua</i> <i>angustifolia</i> (m).	CIC	Cambiables Cmol(+)/kg					
		Ca	Mg	K	Na	Al	H
2m	10.27	2.87	0.54	0.00	0.00	2.12	4.74
5m	9.81	2.53	0.49	0.00	0.00	1.80	5.00
10m	8.42	2.87	0.53	0.00	0.00	2.00	3.02
X	9.50	2.76	0.52	0.00	0.00	1.97	4.25
DS	0.96	0.20	0.03	0.00	0.00	0.16	1.08
CV	10.14	7.18	4.97	0.00	0.00	8.27	25.36
ANVA	0.422	0.8790	0.9463			0.8091	0.4946

En la tabla 29 y 30, se muestra los resultados de la Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva, CICE, de los suelos relacionados con el crecimiento y desarrollo de las matas de *Guadua angustifolia* a 2 m., 5 m., y 10 metros de distancia, por sus iniciales, y es la suma de los cationes calcio, potasio, sodio, magnesio, aluminio (Mckean, 1993), nos indica que la capacidad de intercambio catiónico considerando los datos de % Bas. Camb. % Ac.Camb y % Sat. Al, que como se observa en todas las muestras es alta de las muestras de suelo a diferentes distancias de 2, 5 y 10 m., de la mata de *G. angustifolia* con respecto a la saturación de aluminio para todas las matas y para todas las distancias se considera alto ya que es mayor a 10 el porcentaje de saturación de aluminio, acá se tiene que

considerar que la toxicidad del Al³⁺ también limita la degradación microbiana de la materia orgánica, en este caso la proporción de Al³⁺ en el complejo de cambio y en la solución del suelo, llega a concentraciones que producen síntomas característicos de acuerdo con las especies vegetales, estas características del suelo relacionados con la capacidad de intercambio catiónico efectiva, tiene repercusiones en el desarrollo y crecimiento de otras especies vegetales, siendo las más sensibles la vegetación herbácea.

Tabla 29. Datos de % Bas. Camb. % Ac.Camb y % Sat. Al, de los suelos a distancia de 2, 5, y 10 m de muestreo de la mata de *Guadua angustifolia*.

Datos de la muestra de suelo		%	%	%	Calificativo, Categoría
N° mata de bambú muestreado	Distancia a la mata de bambú (m).	Bas. Camb.	Ac. Camb.	Sat. Al	
1	2 m	34.25	65.75	15.34	Alto
	5 m	26.06	73.94	13.85	Alto
	10 m	32.17	67.83	29.23	Alto
2	2 m	25.17	74.83	17.42	Alto
	5 m	21.71	78.29	17.45	Alto
	10 m	17.43	82.57	14.38	Alto
3	2 m	19.83	80.17	14.45	Alto
	5 m	19.00	81.00	18.42	Alto
	10 m	28.66	71.34	19.56	Alto
4	2 m	44.76	55.24	12.15	Alto
	5 m	37.39	62.61	10.99	Alto
	10 m	70.86	29.14	28.71	Alto
5	2 m	39.84	60.16	53.39	Alto
	5 m	53.72	46.28	44.63	Alto
	10 m	67.04	32.96	31.38	Alto

Tabla 30. Valores promedio de de % Bas. Camb. % Ac.Camb y % Sat. Al. a distancias de 2, 5, 10 m de muestreo.

Distancia a la mata de bambú (m).	%	%	%	Calificativo, Categoría
	Bas. Camb.	Ac. Camb.	Sat. Al	
2 m	32.77	67.23	22.55	Alto
5 m	31.58	68.42	21.07	Alto
10 m	43.23	56.77	24.65	Alto
X	35.86	64.14	22.76	Alto
DS	6.41	6.41	1.80	.....
CV	17.88	10.00	7.91	.....
ANVA	0.519137	0.51913	0.91393	

V. CONCLUSIONES

- La caracterización de los suelos asociados al desarrollo de *Guadua angustifolia* presenta tres clases texturales Arena con textura gruesa, Franco Arcillo Arenoso con textura fina y Franco Arenoso que se considera suelos textura modernamente fina, pH de 4.20 con calificativo de extremadamente y un valor de 1.6% en materia orgánica con nivel bajo, en una distribución horizontal a 2, 5 y 10 metros de distancia de la mata.
- La cantidad de CO₂ almacenado de los suelos asociados al desarrollo del *Guadua angustifolia* es de 26.55 t C ha⁻¹ a 2 m, 26.16 t C ha⁻¹ a 5 m y 18.74 t C ha⁻¹ a 10 m de distancia con un valor promedio de 23.8 t C ha⁻¹ a en la investigación.
- Los suelos donde se desarrollan *Guadua angustifolia* se caracterizan por presentar niveles de fertilidad baja, que se debe a muchos factores que tienen influencia el desarrollo *Guadua angustifolia* como la textura, la acides extrema del suelo, el nivel bajo de materia orgánica, y no presenta diferencia en su distribución horizontal en las distancias evaluadas.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

- Realizar estudios de la caracterización de los suelos donde se desarrollan y crecen las matas de *Guadua angustifolia*, considerando la fisiografía, y los niveles de precipitaciones.
- Realizar estudios de caracterización de los suelos donde crecen y desarrollan las matas de *Guadua angustifolia*, en las diferentes estaciones climática.
- Realizar estudios de caracterización de los suelos donde crecen y se desarrollan las matas de *Guadua angustifolia* y su relación con los ciclos hídricos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abutu, A. (2010) El bambú captura carbono rápidamente, según informe. México <https://www.scidev.net/america-latina/news/el-bamb-captura-carbono-r-pidamente-seg-n-informe/>
- Acevedo, J., Martínez, E. (2003). Sistema de labranza y productividad de los suelos. Serie ciencias agronómicas.
- Aguirre-Cadena, J. F., Ramírez-Valverde, B., Cadena-Iñiguez, J., Juárez-Sánchez, J. P., Caso Barrera, L., & Martínez-Carrera, D. (2018); Biomasa y carbono en *Guadua angustifolia* y *Bambusa oldhamii* en dos comunidades de la sierra Nororiental de Puebla, México. *Revista de Biología Tropical*, 66(4), 1701-1708.
- Álvarez, O., Cairo, P., Mollineda, A., García, Y., Torres, P., Rodríguez, A., (2014), Caracterización química de la biomasa del Bambú (*Bambusa vulgaris* Schrader ex. Wendlan): perspectivas para su utilización. *Centro Agrícola*, 41 (2): 91-93.
- Añazco Romero, M. y Rojas, S. (2015). Estudio de la cadena desde la producción al consumo del bambú (*Guadua angustifolia*). Red Internacional del Bambú y el Ratán (INBAR). <https://bambuecuador.files.wordpress.com/2018/01/2015-estudio-de-la-cadena-desde-la-producciocc81n-al-consumo-del-bambucc81-en-perucc81.pdf>
- Bazán, R. (1996). Manual para el Análisis Químico Suelos Aguas Plantas. Universidad Nacional Agraria la Molina. Fundación para el Desarrollo Agrario. 54 p.
- Bernier, R. y Bortolameolli Giancarlo S. (2000). Diagnóstico de la fertilidad del suelo. En: Técnicas de diagnóstico de fertilidad del suelo, fertilización de praderas, cultivos y mejoramiento de praderas. Osorno, Chile, Instituto de Investigaciones Agropecuarias-Centro Regional de Investigación Remehue: 11-13.
- Betancourt Yáñez, Pedro; González Ríos, Jesús; Figueroa Sandoval, Benjamín; González Cossío, Félix, (1999) Materia orgánica y caracterización de suelos en proceso de recuperación con coberturas vegetativas en zonas templadas de México, *Terra Latinoamericana*, vol. 17, núm. 2, abril-junio, 1999, pp. 139-148, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.

- Buckman, H. (1985). *Naturaleza y Propiedades de los Suelos*. Editorial Hispano americano UTEHA. México. DF México. 509.
- Brady. (1984). *Materia orgánica en el suelo*.
<http://froac.manizales.unal.edu.co/roap/scorm/690/MateriaOrganica.html>.
- Briseño Elizondo, E. (2017). Desarrollo de un modelo de producción de bambú guadua mediante la aplicación de técnicas silviculturales óptimas para la cuantificación del crecimiento y la capacidad de almacenamiento de carbono en plantaciones (*Guadua angustifolia*) en la zona sur de Costa Rica [Informe técnico, Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela de Ingeniería Forestal].
- Byng, J., Chase, M., Christenhusz, M., Fay, M., Judd, W., Mabberley, D., Sennikov, A., Soltis, D., Soltis, P. y Stevens, P. (2016). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical journal of the linnean Society*, 181, 1-20.
- Caballero, M. (2015) *Suelos*. (<file:///E:/arbildo/34c-Suelos%20y%20edafizacion.pdf>).
- Cairo, P. y O. Fundora (2005), *Edafología (Primera y Segunda Parte)*. Editorial. Félix Varela, Ciudad de la Habana, 2005.
- Camargo, J., Chará, J., Giraldo, L. P., Chará, M., & Ximena, G. (2010). Beneficios de los corredores ribereños de *Guadua angustifolia* en la protección de ambientes acuáticos en la Ecorregión cafetera de Colombia. Efectos sobre las propiedades del suelo. *Recursos Naturales y Ambiente*, 61, 53-59. DOI: 10.13140/ RG.2.1.3491.0569.
- Castañeda, A., Vargas, J., Gómez, A., Valdez, J., & Vaquera, H. (2005), Acumulación de carbono en la biomasa aérea en una plantación de *Bambusa oldhamii*. *Agrociencia*, 30(1), 107-113.
- Castellanos, J. Z. (2000). *Manual de Interpretación de Análisis de Suelos, Aguas Agrícolas, Plantas y ECP*. 2ª edición. INTAGRI. México.
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. [CATIE]. (2004), *Guadua-Bamboo. Investigación para el manejo y el mercadeo sostenible del Bamboo en Costa Rica y Colombia*. Disponible en <http://web.catie.ac.cr/guadua/default.asp>.
- Cepeda, J. (1999). *Química de suelos*. 2ed. México Editorial Trillas S.A. 167 p.

- Comisión Nacional Forestal. [CONAFOR]. (2008), Servicios ambientales: ¿qué son? Disponible en http://www.conafor.gob.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=95&Itemid=146.
- Corrales, H. (2017). Establecimiento in vitro del bambú *Guadua angustifolia* Kunth bajo seis tratamientos de desinfección aplicados en segmentos nodales procedentes de ramas primarias. [Tesis de pregrado Universidad Nacional Agraria la Molina]
- Cronquist, A. (1981). An integrated System of Classification of Flowering Plants. C. *Columbia University Press. New York*, 248-250
- Del Águila, I. A. & Caldas, G. V. J. (2022). Sistema agroforestal y servicios ambientales en el cultivo de café caturro en Aucayacu distrito José Crespo y Castilla – provincia de Leoncio Prado – Región Huánuco 2020 – 2021. [Tesis de Maestría]. Universidad Nacional del Callao. Callao - Perú.
- Díaz, A. L. (2020). Estimación de la captura de carbono en dos sistemas agroforestales de café en la provincia de rioja, San Martín – Perú. [Tesis de grado]. Facultad de Ingeniería Agraria. Universidad Católica Sedes Sapientae. Rioja - Perú.
- Díaz Flores, Y., Mendoza Cienfuegos, E. e Inga Santillán, C. (2017) Manual Técnico del Bambú (*Guadua angustifolia* Kunth) para Productores, Editorial Fundación AVSI. <https://es.scribd.com/document/372716454/Manual-Tecnico-del-Bambu-para-Productores-pdf>
- Doran, J.W. y Parkin, B.T. (1994). Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Science Society of America, Inc. Special Publication. Number 35. Madison, Wisconsin, USA.
- Durango Álvarez. E. S., Gallarfo Cabrera, C. y Contreras Contreras, A. (2015). Estudio para el aprovechamiento potencial de hojas de *Guadua angustifolia* Kunth (Poaceae), para el sector cosmético. *Revista cubana de farmacia*, 49(3), 535-542.
- Fassbender, H. W. (1984). Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Cuarta edición. Editorial IICA, San José. Costa Rica.
- Fassbender, H. W., Bornemisza, E. (1987). Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. San José, Costa Rica. 2da edición. Talleres gráficos de Trejos Hnos. Sucs., S. A. Pág. 174.

- Fassbender, H. (1975). Química de suelos con énfasis en Suelos de América Latina. 2ed. IICA. San José, Costa Rica.
- Ferreras L, Magra G; Besson P; Kovalevski E; Garcia F., (2007). Indicadores de calidad física en suelos de la región pampeana norte de argentina bajo siembra directa. Ci. Suelo (Argentina) 25(2): 159-172 p.
- Fonseca González, W. (2017). Revisión de métodos para el monitoreo de biomasa y carbono vegetal en ecosistemas forestales tropicales. *Revista de ciencias ambientales*, 51(2), 91-109. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/ambientales/article/view/9481/11248>
- Ganse, D., Cairo, P. and Yera, Y. (2013), Impact of bamboo (*Bambusa vulgaris* Schrader ex Wendland) on the recovery of a carbonated soft brown soil of Villa Clara. *Revista Congreso Universidad*, 2 (2): 1-10.
- García Cruzatty, Luz C.; Schlatter Vollmann, Juan E. (2012). Caracterización de suelos a lo largo de un gradiente altitudinal en Ecuador *Revista Brasileira de Ciencias Agrarias*, vol. 7, núm. 3, julio-septiembre, 2012, pp. 456-464 Universidade Federal Rural de Pernambuco. Pernambuco, Brasil.
- García S., D., Del Castillo D. (2013), Estimación del Almacenamiento de Carbono y Estructura en Bosques con presencia de Bambú (*Guadua sarcocarpa*) de la Comunidad Nativa Bufe Pozo, Ucayali, Perú. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, IIAP. Programa en Manejo Integral del Bosque y Servicios Ambientales (PROBOSQUES). Estación Experimental Ucayali. Pucallpa, Perú.
- Garmendia, A., Salvador, A., & Garmendia, L. (2005). *Evaluación de impacto ambiental* (PRINTED IN SPAIN (ed.); Primera ed).
- Guerrero, A. (2000). El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos. 2ª reimpresión. Edit. Aedos S.A. España.
- Havlin, J. L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L. & Nelson, W.L. (1999). Soil fertility and fertilizers; an introduction to nutrient management. 6. ed. Upper Saddle River (Estados Unidos), Prentice Hall. 499 p.
- Huamani, H., Mansilla, L. (1995). Caracterización del estado nutricional de los suelos degradados del alto Huallaga. En *tropicultura*. Tingo María, Perú. Vol. 1(2). 7-17 p.

- Ibarra, D., J. A. Ruíz, D. R. González, y J. G. Flores. (2008). Clasificación espacial de la textura de los suelos agrícolas de Zapopan Jalisco. Avances de la investigación científica en el CUCBA. XIX semana de la investigación científica; pp:37-47.
- IDEAM. (2012). Propuesta para la Gestión Integral Ambiental del Recurso Suelo (GIARS). Obtenido de http://www.ideam.gov.co/documents/11769/153422/20121210_Propuesta_Programa_de_M%26SDS_Nov_23_12_v6.pdf/04ac8b73-303d-4d09-b2f5-9dc8b81b4f54.
- INE (Instituto Nacional de Ecología, Mx). (2005). México. Revista El Carbono no. 3:11-18.]. Disponible en <http://www.ine.gob.mx/>. Documento pdf.
- Jaramillo, J. (2002). Introducción a la ciencia del suelo. (<http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf>).
- Jiménez C., L. (2019), Caracterización de suelos asociados a los rodales de *Guadua angustifolia* Kunth en la cuenca baja del río Guarapas en el Municipio de Pitalito-Huila Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD CCAV Pitalito – Huila.
- Juárez D., R., Fragoso C. G., Turrent F., A., Sandoval C., A., Ferreras C., R., Ocampo F. I. y Ocampo M., J. (2007), Manejo de la diversidad biológica del suelo en sistemas agroforestales. En López Olgín, J. F., Aragón García, A. y Tapia Rojas, A.M. (Comp.), Avances en Agroecología y Ambiente. Vol. 1 (pp. 227-249). Puebla, México: BUAP.
- Larson, W.E. y Pierce, F.J., (1991). *Conservación y mejora de la calidad del suelo*. En: Dumanski, J. (Ed.), Evaluación para el manejo sostenible de la tierra en el mundo en desarrollo. Actas del Taller Internacional.
- Lavelle, P., Bignell, D., Lepage, M., Wolters, V., Roger, P., Ineson, P., Heal, O., Ghillion, S. (1997). Soil function in a changing world: The role of invertebrate ecosystem engineers. *Eur. J. Soil Biol.* 33.
- Londoño P., Ximena. (2002), Distribución, Morfología, Taxonomía, Anatomía, Silvicultura y Usos de los Bambúes del Nuevo Mundo. <http://www.maderinsa.com/guadua/taller.html>.
- Londoño, X. (2010). Identificación Taxonómica de los Bambúes de la Región Noroccidental del Perú. Ministerio de Agricultura. Dirección General forestal y de Fauna Silvestre. Ministerio de Agricultura. http://www.itto.int/files/user/pdf/PROJECT_REPORTS/INFORME%20TAXONOMIA%20BAMB%C3%9A.pdf

- López, A. (2008), Rendimiento de biomasa de *Bambusa vulgaris* y su relación con la protección de los suelos en la provincia de Granma. *Zootecnia Tropical*, 26(3): 275-277. 2008.
- Marín, Ch.D., Y. Guédez y L. Márquez de Hernández. (2011), Las plantaciones de guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) y bambú (*Bambusa vulgaris* Schrad.) de San Javier, estado Yaracuy, Venezuela. III. Estructura de las plantaciones y balance de nutrimentos Laboratorio Ecología Agrícola Instituto de Botánica Agrícola. Fagro UCV Maracay.
- Martín Chivelet, J. M. (2010). Ciclo del carbono y clima: la perspectiva geológica. Fundamentos conceptuales y didácticos. *Enseñanzas de las ciencias de la Tierra*, 28(2), 33-46.
- Matus, F. J., y C. R. Maire. (2000). Relación entre la materia orgánica del suelo, textura del suelo y tasa de mineralización del carbono y nitrógeno. *Agricultura Técnica* 60(2): 112-126.
- Mckean, S. (1993), Manual de análisis de suelo y tejido vegetal: una guía teórica y práctica de metodologías. Palmira, Colombia, CIAT. Documento de trabajo 129.
- Mckean, S. (1993). Manual de análisis de suelo y tejido vegetal: una guía teórica y práctica de metodologías. Palmira, Colombia, CIAT. Documento de trabajo 129.
- Mercadet, Alicia, A Álvarez, A Escarré, Osiris Ortiz (2010), Ampliación de la base de datos de los coeficientes de carbono y de nitrógeno en la madera de especies forestales arbóreas cubanas. Informe Final del Subproyecto 11.69.01 La retención de carbono por los bosques cubanos; Proyecto 11.69, Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático: Subsector Forestal. Instituto de Investigaciones Forestales, La Habana, Cuba.
- Ministerio de Agricultura (2008). Plan Nacional de Promoción del Bambú 2008- 2020. Dirección General de Competitividad Agraria. Perú. <https://www.serfor.gob.pe/portal/wpcontent/uploads/2017/04/Plan%20Nacional%20del%20Bambu.pdf>
- Mishra, G., Giri, K., Panday, S., Kumar, R. and Bisht, N. (2014), Bamboo: potential resource for eco-restoration of degraded lands. *Journal of Biology and Earth Sciences*, 4 (2): 130-136.

- Molina, C. E. (2016). Análisis de la fertilidad de los suelos agrícolas destinados al cultivo de arroz en la cuenca baja del río Jequetepeque. Repositorio De La Pontificia Universidad Católica Del Perú. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/7551>.
- Molina, E. (2010). Análisis de suelo y su interpretación. Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica. <http://www.aminogrowinternacional.com>.
- Mónaco, N., Rosa, M. J., Santa, V., Aufrán, V. y Heguiabehere, A. (2015). Utilización de estimadores para determinación de Biomasa a campo. *European Scientific Journal*, 11(33).
- Moura-Costa, P. (2001). La convención sobre el clima y el mercado de las contrapartes de las emisiones de carbono basadas en las actividades forestales. *Unasyuva* 52(206).
- Navarro, G. (2003). Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales en la vida vegetal. 2 ed. Mundi Prensa, España.
- Navarro, B. & Navarro, G. (2003). Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Segunda edición. Ediciones Mundi–Prensa, Madrid. 487p.
- Noriega O., M. (2018), Caracterización de servicios ecosistémicos de la *Guadua angustifolia* Kunth en la cuenca baja del río Guarapas en Pitalito-Huila Universidad Nacional Abierta Y A Distancia – UNAD.
- Noval Artiles, Ernesto; García Díaz, Juan Ramón; García López, Roberto; Quiñones Ramos, Reinaldo y Mollineda Tujillo, Ángel (2014) Caracterización de algunos componentes químicos, en suelos de diferentes agroecosistemas ganaderos *Revista Centro Agrícola*, 41(1): 25-31; enero-marzo, 2014.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2015. Compostaje: vamos a devolver algo al suelo. <https://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/281085/>.
- Organismos de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA]. (2015). Instrumentos Básicos para la fiscalización ambiental. https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=13978.8
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2018). El Estado de los Bosques del Mundo. Las vías forestales hacia el desarrollo sostenible. Roma. <https://www.fao.org/3/i9535es/i9535es.pdf>

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [Fao]. (2015). *Propiedades físicas químicas y biológicas del suelo*. (<http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos/propiedades-del-suelo/es/>) pdf.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2019). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. Textura del suelo. Disponible en: <https://bit.ly/2MmvZe0>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2019). Portal de suelos de la FAO. Disponible en: <https://bit.ly/2Fr8kpN>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2020). Portal de Suelos de la FAO: Propiedades químicas del Suelo. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>
- Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre (OSINFOR). (2021). Servicios ambientales <https://www.osinfor.gob.pe/serviciosambientales/#:~:text=Un%20pago%20por%20servici%20ambientales,decir%2C%20solo%20si%20se%20asegura>
- Organismo Internacional del Bambú y el Ratón [INBAR]. (2020). El bambú para combatir el cambio climático: 5 maneras de cómo usarlo. <https://www.inbar.int/es/el-bambu-para-combatir-el-cambio-climatico-5-maneras-de-como-usarlo/>
- Otani Álvarez Alonso¹, Pedro Cairo Cairo², Ángel Mollineda Trujillo², Yaser García López², Pedro Torres Artiles², Alianny Rodríguez Urrutia² y Felidia Cuevas Hernández (2014), Caracterización química de la biomasa del Bambú (*Bambusa vulgaris* Schrader ex. Wendlan): perspectivas para su utilización Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP), Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas (UCLV), Carretera a Camajuaní Km 6, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.
- Ordoñez Prado, C., Tamarit Urias^{ll}, J. C., Buendía Rodríguez, E. & Orozco Gutiérrez, G. (2022). Estimación e inventario de biomasa y carbono del bambú nativo *Guadua aculeata* Rupr. en Puebla, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25(47), 1-14. <https://www.researchgate.net/publication/359122529>
- Ortega F. J. y Villarreal Artunduaga, J. R. (2014). Caracterización Forestal y Productiva de la guadua (*Guadua angustifolia* Kunth), en los municipios de Salado blanco y Timana al sur del departamento del Huila. [Tesis de pregrado, Universidad Abierta y a Distancia].

[https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/8620/12240404.pdf?sequence=1
&i sAllowed=y](https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/8620/12240404.pdf?sequence=1&i sAllowed=y)

- Palomino, T. (2015). Calidad de los suelos en vegetación de diferentes edades en la localidad Caracol - distrito Chinchao- Huánuco. Tesis Ing. Recursos Naturales Renovables. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Pardé, M. (1980). Forest Biomass Forestry products abstract: review article. Commonwealth Forestry Bureau 3(8).
- Pedro Cairo Cairo1, Otani Alvares Alonso2, Yamisey Yera Yera2, Alianny Rodríguez Urrutia2, Álvaro Mollineda2, Pedro Torres Artilles2 y Oralia Rodríguez López2 (2018), La biomasa de *Bambusa vulgaris* como alternativa para la recuperación de suelos degradados Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas – Cuba Revista Centro Agrícola Vol.45, No.3, julio septiembre, 51-58, 2018.
- Pérez García, Nelsson, Manuel Rueda González, Gustavo Enrique Rojo Martínez, Rosa Martínez Ruíz, Benito Ramírez Valverde y José Pedro Juárez Sánchez (2009) El Bambú (*Bambusa spp.*) Como Sistema Agroforestal: una Alternativa de Desarrollo Mediante el pago por Servicios Ambientales en la Sierra Nororiental del Estado de Puebla Ra Ximhai, septiembre-diciembre, año/Vol. 5, Número 3. Universidad Autónoma Indígena de México. Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 335-346.
- Porta, J., Acevedo, M. L., & Roquero, C. (1992). Edafología, El suelo en relación con la Producción. Lima, Perú: Biblioteca Nacional del Perú.
- arboles/view
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA]. (2019). Informe sobre la disparidad en las emisiones del 2019. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/30798/EGR19ESSP.pdf?sequence=17>
- Pusare, T. A. L. (2021). Valoración económica del servicio ambiental de almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica* L.) del distrito Chontabamba, provincia de Oxapampa, región Pasco - 2020. [Tesis de grado]. Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Oxapampa - Perú.

- Quintana, J. O.; Blandón, J.; Flores, A.; Mayorga, E. (1983). Manual de Fertilidad para los suelos de Nicaragua. Editorial Primer Territorio Indígena Libre de América Ithaca, Nueva Yor. Residencial Las Mercedes N° 19-A. Managua Nicaragua.
- Ramírez, S. (2013). Estudio de indicadores de la calidad del suelo en áreas destinadas a la producción intensiva de gramíneas cespitosas. (<http://biblioteca.ihatuey.cu/link/tesis/tesism/wendyramirez.pdf>).
- Ramos, E. (2022). Promueven el uso del bambú para garantizar el desarrollo sostenible de la Amazonía. Perú. <https://agraria.pe/noticias/promueven-el-uso-del-bambu-para-garantizar-el-desarrollo-sos-26729>
- Revilla Chávez, J. M. (2019). Propagación Clonal de Tres Especies de Bambú. Semana Forestal y Semana de la Ciencia Tecnología y Ambiente. Pucallpa.
- Rodríguez Santos, N. (2013). Guía para la cuantificación de la biomasa y el carbono forestal, generación de modelos y uso de herramientas para su estimación. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. <https://www.car.gov.co/uploads/files/5ade19e5bcb8e.pdf>
- Rojas, A. E., & Ibarra, J. (2003). La degradación del suelo y sus efectos sobre la población. Recuperado de <file:///C:/Users/usuario/Downloads/Dialnet-LaDegradacionDelSueloYSusEfectosSobreLaPoblacion-5654360.pdf>
- Russo R. O., (2013), Aportes de las plantaciones de bambú en el manejo de cuencas V Congreso Nacional de Cuencas Hidrográficas y II Congreso Centroamericano de Cuencas Hidrográficas, mayo de 2013, San José, Costa Rica.
- Russo, R. O., (2012), Los servicios ecosistémicos del bambú, con énfasis en captura de dióxido de carbono y fijación de carbono en la biomasa en *Guadua angustifolia* Kunth. Revisión y análisis de literatura preparada para EITEC. Cartago, junio de 2012.
- Ruz, N. (2018). *Manual de Práctica de la asignatura de edafología* (pp. 1–81). Instituto Tecnológico de Tizimín-Tecnología nacional de México. <http://www.ittizimin.edu.mx/archivos/man-prac-agro/Manual-edafologia.pdf>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Subíndice de Uso Sustentable del Suelo – Metodología de Cálculo. [SAGARPA] (2012). *Suelos*. SMYE, ([http://smye.info/rn/ind_fin/suelos/Documento metodologico_suelos\).pdf](http://smye.info/rn/ind_fin/suelos/Documento_metodologico_suelos).pdf).

- Sánchez, P. (1981). Suelos del Trópico Características y Manejo. Traducido por Edilberto Camacho, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José, Costa Rica.
- Sánchez, J. (2007). Fertilidad de suelos y nutrición mineral de plantas. FERTITEC S.A.
- Sandoval, J.E. (1,989). Principio de Riego y Drenaje. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Edit. Editorial Universitaria.
- Saugier, B. y Pontailier, J. (2006). El ciclo global del carbono y sus consecuencias en la fotosíntesis en el Altiplano Boliviano. *Ecología en Bolivia*, 41(3), 71-85. <https://ecologiaenbolivia.com/documents/04CicloGlobal41-3.pdf>
- SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN (SAGARPA). (2012). Subíndice de Uso Sustentable del Suelo – Metodología de Cálculo: SMYE, (http://smye.info/rn/ind_fin/suelos/Documento-metodologico_suelos.pdf).
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre [SERFOR]. (2019). informe de inventario nacional forestal y de fauna silvestre del Perú. Lima - Perú. <https://www.serfor.gob.pe/portal/wp-content/uploads/2020/03/INFORME-DEL-INFFS-PANEL-1.pdf>
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre [SERFOR]. (2021). Manual de manejo integral del bambú (*Guadua angustifolia* Kunth) Experiencia en la región Amazonas.
- SIGGUADUA. (2018), Bienes y Servicios Ambientales de la Guadua en Colombia (*Guadua angustifolia* Kunth)., de http://www.sigguadua.gov.co/sites/default/files/archivos/bienes_y_servicios_guadua.pdf.
- Soil Survey Staff. (1993). Soil survey manual. United States Department of Agriculture. Hnbk no. 18 U.S. Gov. Printing Office, Washington, DC.
- United States Department of Agriculture. [Usda]. (1999). Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Departamento de agricultura de los Estados Unidos.
- Upstream. Pluspetrol. (2006). Protocolos detallados de monitoreo de indicadores biológicos. Programa de Monitoreo de Biodiversidad Zona de Selva. Proyecto de Gas de Camisea Perú. Perú.

- Valdés, L., Martínez, L., Bonilla, M., Castillo I. (2016). Efectos del fuego en algunas características de suelo de pinares, Macurije, Pinar del Rio, Cuba. (file:///C:/Users/USER/Desktop/TESIS%20METODOLOGIA/v12-n2-2-efectos-del-fuego-en-algunas-caracter%C3%ADsticas-de-suelos-de-pinares-Macurije-Pinar-del-R%C3%ADo-Cuba.pdf).
- Vargas, Y., Valdivia, L. (2005). Recuperación, mediante leguminosas rastreras, de suelos degradados (ex cocales) en la Selva Alta del Perú. Mosaico científico 2(2).
- Vega, O. G; Ordoñez. E. C. M; Suarez S. J. C & López, P. C. F. (2013). Almacenamiento de carbono en arreglos agroforestales asociados con café (*Coffea arabica*) en el sur de Colombia. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA – Centro de Gestión y Desarrollo Sostenible, Sur colombiano. Región Huila. Universidad de la Amazonía. Colombia.
- Vélez, S. (2018), “Símbolo y búsqueda de lo primitivo”. Obtenido de la *Guadua angustifolia* “El Bambú Colombiano”: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93442/06_ESD_Cos_pp_35_81.pdf.
- Villaseñor D., Chabla J. y Luna E. (2015) Caracterización física y clasificación taxonómica de algunos suelos dedicados a la actividad agrícola de la provincia de El Oro. CUMBRES, Revista Científica. 1(2) 28 – 34.
- Williams, J., Whelan, R., Gill, A. (1994). Fire and environmental heterogeneity in Southern temperate forest ecosystems: implications for management. Aust. J. Bot.
- Zanetti E., Gómez García, J. J., Mostacero J. y Reyes O. (2017). *Cambio climático y políticas públicas forestales en América Latina*. CEPAL. [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40922/S1601346_es.pdf?sequence=4 &isAllowed=y](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40922/S1601346_es.pdf?sequence=4&isAllowed=y)
- Zavaleta, A. (1992). Edafología, El suelo en relación con la producción. CONCYTEC. Lima – Perú.

ANEXO

Anexo 1. Detalle de las características físicas y químicas del suelo

Anexo 1.1. Caracterización física del suelo asociados al desarrollo de *C. angustifolia*

Tabla 31. Análisis de suelos para la clase textural de las 5 matas de *C. angustifolia* a 2 m de distancia.

<i>Guadua angustifolia</i>		Análisis Mecánico			Textura	Calificativo
		Arena	Arcilla	Limo		
N° de mata	Distancia del muestreo (m)	%	%	%		
1	2 m	65	16	19	Franco Arenoso	Textura Moderadamente gruesa
2	2 m	59	22	19	Franco Arcillo Arenoso	Textura Moderadamente Fina
3	2 m	61	22	17	Franco Arcillo Arenoso	Textura Moderadamente Fina
4	2 m	65	18	17	Franco Arenoso	Textura Moderadamente gruesa
5	2 m	65	18	17	Franco Arenoso	Textura Moderadamente gruesa

Tabla 32. Análisis de suelos para la clase textural de las 5 plantas de *C. angustifolia* a 5 m de distancias de la mata.

<i>Guadua angustifolia</i>		Análisis mecánico			Textura	Calificativo
		Arena	Arcilla	Limo		
N° de mata	Distancia del muestreo (m).	%	%	%		
1	5 m	61	20	19	Franco Arenoso	Textura Moderadamente gruesa
2	5 m	59	22	19	Franco Arcillo Arenoso	Textura Moderadamente Fina
3	5 m	65	16	19	Franco Arenoso	Textura Moderadamente gruesa
4	5 m	71	14	15	Arena Franca	Textura Guesa
5	5 m	69	16	15	Franco Arenoso	Textura Moderadamente gruesa

Tabla 33. Análisis de suelos para la clase textural de las 5 plantas de *C. angustifolia* a 10 m de distancias de la mata.

		Análisis Mecánico				
<i>Guadua angustifolia</i>		Arena	Arcilla	Limo		Calificativo
N° de mata	Distancia del muestreo (m).	%	%	%	Textura	
1	10 m	57	26	17	Franco Arcillo Arenoso	Textura Moderadamente Fina
2	10 m	52	30	17	Franco Arcillo Arenoso	Textura Moderadamente Fina
3	10 m	67	16	17	Franco Arenoso	Textura Moderadamente gruesa
4	10 m	69	14	17	Franco Arenoso	Textura Moderadamente gruesa
5	10 m	65	20	15	Franco Arenoso	Textura Moderadamente gruesa

Anexo 1.2. Caracterización química del suelo asociado al desarrollo del bambú

Tabla 34. Valores de pH de los suelos de las 5 matas de *G. angustifolia* a 2 m de distancias, calificativo y sus efectos.

Datos de la muestra de suelo		pH	
<i>Guadua angustifolia</i>	Distancia del muestreo a	01:01	Calificativo
	la mata de <i>G. angustifolia</i> (m).		
1	2 m	4.15	Extremadamente ácido
2	2 m	3.07	Extremadamente ácido
3	2 m	4.11	Extremadamente ácido
4	2 m	4.4	Extremadamente ácido
5	2 m	3.99	Extremadamente ácido
Promedio	2m	3.9	Extremadamente ácido

Tabla 35. Valores de pH de los suelos a la distancia de 5 m calificativo y sus efectos.

Datos de la muestra de suelo		PH	
N° mata de <i>G. angustifolia</i>	Distancia del muestreo a	01:01	Calificativo
	la mata de <i>G. angustifolia</i> (m).		
1	5 m	3.95	Extremadamente ácido
2	5 m	4.42	Extremadamente ácido
3	5 m	4.19	Extremadamente ácido
4	5 m	4.96	Muy fuertemente ácido
5	5 m	4.08	Extremadamente ácido
Promedio	5m	4.3	Extremadamente ácido

Tabla 36. Valores de pH de los suelos a la distancia de 10 m calificativo y sus efectos

Datos de la muestra de suelo		PH	
N° mata de <i>G. angustifolia</i>	Distancia del muestreo a la mata de <i>G. angustifolia</i> (m).	01:01	Calificativo
1	10 m	4.43	Extremadamente ácido
2	10 m	4.16	Extremadamente ácido
3	10 m	4.87	Muy fuertemente ácido
4	10 m	4.36	Extremadamente ácido
5	10 m	4.18	Extremadamente ácido
Promedio	10 m.	4.4	Extremadamente ácido

Tabla 37. Resultados de materia orgánica de los suelos en 5 plantas de *G. angustifolia* muestreados a 2 metros de distancia de cada mata.

Datos de la muestra de suelo		M.O.	
N° mata de <i>G. angustifolia</i>	Distancia del muestreo a la mata de <i>G. angustifolia</i> (m).	%	Interpretación
1	2 m	0.81	Nivel bajo
2	2 m	1.38	Nivel bajo
3	2 m	1.69	Nivel bajo
4	2 m	1.95	Nivel bajo
5	2 m	2.33	Nivel medio
Promedio	2m	1.6	Nivel bajo

Tabla 38. Resultados de materia orgánica de los suelos en 5 plantas de *G. angustifolia* muestreados a 5 metros de distancia de cada mata.

Datos de la muestra de suelo		M.O.	Interpretación
Nº mata de <i>G. angustifolia</i>	Distancia del muestreo a la mata de <i>G. angustifolia</i> (m).	%	
1	5 m	1.28	Nivel bajo
2	5 m	1.45	Nivel bajo
3	5 m	1.35	Nivel bajo
4	5 m	1.35	Nivel bajo
5	5 m	2.61	Nivel bajo
Promedio	5m	1.6	Nivel bajo

Tabla 39. Resultados de materia orgánica de los suelos en 5 plantas de *G. angustifolia* muestreados a 10 metros de distancia de cada mata

Datos de la muestra de suelo		M.O.	Interpretación
Nº mata de <i>G. angustifolia</i>	Distancia del muestreo a la mata de <i>G. angustifolia</i> (m).	%	
1	10 m	1.45	Nivel bajo
2	10 m	1.88	Nivel bajo
3	10 m	2.37	Nivel medio
4	10 m	0.76	Nivel bajo
5	10 m	2.21	Nivel medio
Promedio	10 m.	1.7	Nivel bajo

Anexo 1. Panel fotográfico

Figura 9. Muestreo de suelo área de *G. angustifolia*



Figura 10. Muestras de suelo distancias a 2 m, 5 m y 10 m del área de *G. angustifolia*



Figura 11. Muestreo de suelo a 2 m de distancia de *G. angustifolia*



Figura 12. Muestras de suelo a 5 m de distancia de *G. angustifolia*



Figura 13. Muestreo de suelo a 10 m de distancia de *G. angustifolia*



Figura 14. Muestras de suelo a 10 m de distancia de *G. angustifolia*

Figura 15. Análisis de suelos de las matas de bambú.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - CELULAR 944407531
Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología
analisisdesuelosunas@hotmail.com



ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE: ACUÑA SOBRADO MERLITH MAGDIEL / GUERRA LU JOSE KALION										PROCEDENCIA: BAMBUSAL BOSQUE RESERVADO DE BAMBU UNAS																					
REFERENCIA: SUELOS ASOCIADOS A LOS RODALES DE BAMBU										PROFUNDIDAD: 0 - 20 cm																					
N°	DATOS			ANÁLISIS MECÁNICO			pH	M.O.	N	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						CICo	%	%	%									
	CODIGO DEL LAB.	DISTANCIA DE LA MATA	MUESTRA	Arena	Arcilla	Limo							Textura	1:1	%	%	ppm	ppm					Ca	Mg	K	Na	Al	H	Bas. Camb.	Ac. Camb.	Sat. Al
				%	%	%																									
1	S0813-1	2 m	1 A	65	16	19	Franco Arenoso	4.15	0.81	0.04	4.11	109.95	---	3.29	0.62	--	--	1.75	5.75	11.41	34.25	65.75	15.34								
2	S0813-2	5 m	1 B	61	20	19	Franco Arenoso	3.95	1.28	0.06	3.35	94.96	---	2.34	0.45	--	--	1.48	6.42	10.69	26.06	73.94	13.85								
3	S0813-3	10 m	1 C	57	26	17	Franco Arcillo Arenoso	4.43	1.45	0.07	2.98	69.97	---	2.23	0.38	--	--	2.37	3.13	8.11	32.17	67.83	29.23								
4	S0813-4	2 m	2 A	59	22	19	Franco Arcillo Arenoso	3.07	1.38	0.07	3.99	155.93	---	1.83	0.33	--	--	1.49	4.91	8.55	25.17	74.83	17.42								
5	S0813-5	5 m	2 B	59	22	19	Franco Arcillo Arenoso	4.42	1.45	0.07	3.23	124.95	---	1.62	0.32	--	--	1.56	5.44	8.94	21.71	78.29	17.45								
6	S0813-6	10 m	2 C	53	30	17	Franco Arcillo Arenoso	4.16	1.88	0.09	3.23	84.96	---	1.50	0.29	--	--	1.48	7.02	10.29	17.43	82.57	14.38								
7	S0813-7	2 m	4 A	61	22	17	Franco Arcillo Arenoso	4.11	1.69	0.08	4.24	193.91	---	1.80	0.33	--	--	1.55	7.05	10.73	19.83	80.17	14.45								
8	S0813-8	5 m	4 B	65	16	19	Franco Arenoso	4.19	1.35	0.07	5.12	125.67	---	1.45	0.27	--	--	1.66	5.64	9.01	19.00	81.00	18.42								
9	S0813-9	10 m	4 C	67	16	17	Franco Arenoso	4.87	2.37	0.12	6.26	99.96	---	2.28	0.37	--	--	1.81	4.79	9.25	28.66	71.34	19.56								
10	S0813-10	2 m	5 A	65	18	17	Franco Arenoso	4.40	1.95	0.10	4.62	134.94	---	4.77	0.90	--	--	1.54	5.46	12.67	44.76	55.24	12.15								
11	S0813-11	5 m	5 B	71	14	15	Arena Franca	4.96	1.35	0.07	5.25	89.96	---	4.50	0.88	--	--	1.58	7.42	14.38	37.39	62.61	10.99								
12	S0813-12	10 m	5 C	69	14	17	Franco Arenoso	4.36	0.76	0.04	3.86	59.97	---	4.12	0.74	--	--	1.97	0.03	6.86	70.86	29.14	28.71								
13	S0813-13	2 m	3 A	65	18	17	Franco Arenoso	3.99	2.33	0.12	6.01	164.93	---	2.68	0.50	--	--	4.26	0.54	7.98	39.84	60.16	53.39								
14	S0813-14	5 m	3 B	69	16	15	Franco Arenoso	4.08	2.61	0.13	5.38	121.52	---	2.74	0.52	--	--	2.70	0.10	6.05	53.72	46.28	44.63								
15	S0813-15	10 m	3 C	65	20	15	Franco Arenoso	4.18	2.21	0.11	5.63	92.86	---	4.23	0.86	--	--	2.38	0.12	7.59	67.04	32.96	31.38								

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE

RECIBO No. 001-0634913

TINGO MARIA, 03 DE SETIEMBRE 2021

[Firma manuscrita]
Margarita Nubove
E.P.



