

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



TESIS

**“SECUESTRO Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN
LAS PLANTACIONES DE BAMBÚ (*Guadua angustifolia*
Kunth) DEL CASERÍO EL MUYO – BAGUA AMAZONAS”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO FORESTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

EDSON MORENO ADRIANZÉN

ASESOR:

Ing. M. Sc. WALTER RICARDO RONCAL BRIONES


CAJAMARCA – PERÚ

2026

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:
Edson Moreno Adrianzén
DNI: 46577562
Escuela Profesional/Unidad UNC:
Ingeniería Forestal
2. Asesor:
Ing. M. Sc. Walter Ricardo Roncal Briones
Facultad/Unidad UNC:
Facultad de Ciencias Agrarias / Ingeniería Forestal
3. Grado académico o título profesional
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
4. Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
**"SECUESTRO Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN LAS PLANTACIONES DE BAMBÚ
(Guadua angustifolia Kunth) DEL CASERÍO EL MUYO – BAGUA AMAZONAS"**
6. Fecha de evaluación: 29/04/2021
7. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 3 %
9. Código Documento: D103212328
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 20/05/2026

<i>Firma y/o Sello Emisor Constancia</i>
 <hr/> Ing. M. Sc. Walter Ricardo Roncal Briones DNI: 26632728



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"

Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Cajamarca, a los trece días del mes de marzo del año dos mil veintiséis, se reunieron de manera virtual, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 424-2023-FCA-UNC, de fecha 04 de setiembre del 2023**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: **"SECUESTRO Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN LAS PLANTACIONES DE BAMBÚ (*Guadua angustifolia* Kunth) DEL CASERÍO EL MUYO - BAGUA AMAZONAS"**, realizada por el Bachiller **EDSON MORENO ADRIANZÉN** para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL**.

A las diecinueve horas y siete minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de dieciséis (16); por tanto, el Bachiller queda expedito para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL**.

A las veinte horas y cincuenta y cinco minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.

Ing. Nehemías Honorio Sangay Martos
PRESIDENTE

Ing. Mg. Sc. Luis Dávila Estela
SECRETARIO

Ing. Oscar Rogelio Sáenz Narro
VOCAL

Ing. M. Sc. Walter Ricardo Roncal Briones
ASESOR

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por ser mi camino, guía y permitirme llegar hasta este momento importante de mi formación profesional.

A mis padres y hermanos, por su paciencia, confianza, consejos y enseñanzas; estando siempre a mi lado en las tristezas y alegrías.

Edson

AGRADECIMIENTOS

A mis profesores de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Forestal de la Universidad Nacional de Cajamarca, por haber contribuido de manera eficiente en mi formación profesional.

Quiero agradecer especialmente al Ing. M. Sc. Walter Ricardo Roncal Briones, por su asesoría y apoyo brindado para poder culminar con éxito la presente investigación.

Al Ing. Henry William Sarmiento Castillo, por su tiempo y consejos para hacer posible la realización del presente documento.

A la familia Reaño Ramírez y Reaño Canario, en memoria y agradecimiento de mi amigo Jaime, por su apoyo incondicional y brindarme las facilidades para poder realizar la presente investigación, en sus plantaciones de bambú.

A todas las personas que me apoyaron e hicieron posible que el trabajo se realice con éxito, en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE ANEXOS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
I. INTRODUCCIÓN	13
II. REVISIÓN DE LITERATURA	16
2.1. Antecedentes de la investigación	16
2.2. Bases teóricas	19
2.2.1. Plantaciones de bambú	19
2.2.2. Secuestro y almacenamiento de carbono	21
2.2.3. Ciclo del carbono	23
2.2.4. El carbono en el suelo	26
2.2.5. El bambú	28
2.2.6. El bambú en el Perú	29
2.2.7. Importancia ambiental del bambú	30
2.2.8. El bambú como producto forestal	31
2.2.9. Beneficios del bambú como agente de restauración ecológica	32
2.2.10. El bambú como especie competitiva para la fijación de carbono	33
2.2.11. Taxonomía y morfología de la <i>Guadua angustifolia</i> Kunth	36
2.2.12. Silvicultura del bambú	40
2.2.13. Métodos para la estimación de captura de carbono	41
2.2.13.1. Método para estimación en la biomasa	41
2.2.13.2. Método para la estimación en el suelo	43
2.3. Definición de términos	45
III. MATERIALES Y MÉTODOS	48
3.1. Ubicación	48
3.2. Descripción de la plantación	49

3.3.	Materiales	49
3.3.1.	Metodología	50
3.3.2.	Diseño y selección del área de muestreo	50
3.3.3.	Obtención de muestras de suelo	52
3.3.4.	Datos del diámetro y altura de los culmos	52
3.3.5.	Pesado de los componentes morfológicos de la planta	52
3.3.6.	Pesado y etiquetado de las muestras en campo	53
3.3.7.	Determinación de la biomasa seca	54
3.3.8.	Cálculo de carbono total en la biomasa	55
3.3.9.	Cálculo del contenido total de carbono en el suelo	55
3.3.10.	Cálculo de la densidad aparente del suelo	56
3.3.11.	Cálculo del porcentaje de carbono en el suelo (%)	57
3.3.12.	Cálculo del porcentaje de materia orgánica	57
3.3.13.	Medición del pH	58
3.3.14.	Obtención de la clase textural del suelo	58
IV.	Presentación de la información	59
4.1.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	60
4.1.1.	Estimación del carbono en la biomasa de <i>Guadua angustifolia</i> Kunth	60
4.1.2.	Estimación del carbono en la biomasa	60
4.2.	Estimación del carbono en la biomasa seca	62
V.	Estimación del carbono en el suelo de plantaciones de bambú	72
VI.	CONCLUSIONES	77
VII.	RECOMENDACIONES	78

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Peso seco y potencial de captura de carbono en plantaciones de bambú	36
Tabla 2. Cantidad de carbono fijado por órgano y total en el bosque natural	36
Tabla 3. Biomasa seca según componente y su respectivo reservorio y porcentaje	61
Tabla 4. Carbono acumulado en tha^{-1}	63
Tabla 5. Potencial de captura de carbono en bambú, incluido el suelo	68
Tabla 6. Carbono almacenado en el suelo de la plantación	72

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ciclo del dióxido de carbono (CO ₂)	25
Figura 2. Componentes morfológicos del Guadua	39
Figura 3. Mapa de ubicación del área de estudio	48
Figura 4. Diseño de la parcela de evaluación	51
Figura 5. Diseño de las subparcelas de muestreo de la biomasa	51
Figura 6. Corte y pesado de culmos	53
Figura 7. Extracción y selección de rizomas de bambú	53
Figura 8. Pesado y etiquetado de las muestras	53
Figura 9. Preparación de calicata y muestreo de suelo	56
Figura 10. Valorización de la materia orgánica	57
Figura 11. Preparación de muestra y medición del pH	58
Figura 12. Homogenización y medición de la temperatura (°F)	59
Figura 13. Cantidad de biomasa (t ha ⁻¹)	60
Figura 14. Relación peso fresco y biomasa seca por planta (kg)	62
Figura 15. Representación del contenido de carbono en los componentes	64
Figura 16. Carbono almacenado en la biomasa y el suelo (t ha ⁻¹)	68
Figura 17. Reservorio de carbono y sus porcentajes	69

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Resultados de análisis de suelo - Laboratorio OIKOSLAB S.A.C	88
Anexo 2. Resultado del secado de las submuestras de los componentes	89
Anexo 3. Mapa de ubicación de la plantación y del área de evaluación	92
Anexo 4. Determinación del carbono contenido en el suelo	93
Anexo 5. Determinación de la clase textural - Método del Hidrómetro de Bouyoucos	96
Anexo 6. Inventario en las parcelas evaluadas	97
Anexo 7. Peso húmedo y peso seco de los culmos de <i>Guadua angustifolia</i> Kunth	98
Anexo 8. Peso húmedo y peso seco de las ramas de <i>Guadua angustifolia</i> Kunth	99
Anexo 9. Peso húmedo y peso seco de los rizomas de <i>Guadua angustifolia</i> Kunth	100
Anexo 10. Peso húmedo y peso seco de las hojas de <i>Guadua angustifolia</i> Kunth	101
Anexo 11. Peso húmedo y peso seco de hojas caulinares de <i>Guadua angustifolia</i> Kunth	102
Anexo 12. Peso fresco y peso seco total de los componentes morfológicos por planta	103
Anexo 13. Peso fresco y peso seco de los componentes morfológicos por parcela	105
Anexo 14. Panel fotográfico	106

RESUMEN

El objetivo del estudio fue estimar la cantidad de carbono almacenado en las plantaciones de bambú (*Guadua angustifolia* Kunth), tanto en la biomasa aérea y subterránea, así como en el suelo, en la finca “La Maracuyá I, II y III”, plantación evaluada a los 14 años de edad, en el caserío El Muyo, distrito Aramango, provincia Bagua, región Amazonas. Se utilizó la relación de peso húmedo y peso seco para determinar la cantidad de biomasa de cada planta de bambú seleccionada, y mediante el método destructivo se obtuvieron los pesos frescos de la totalidad de cada parte morfológica de la planta (rizomas, culmos, ramas, hojas caulinares y hojas de follaje). Se determinó que la cantidad de carbono almacenado en la biomasa de las plantaciones fue de 47,829 tCha⁻¹, mientras que el carbono almacenado en el suelo fue de 89,974 tCha⁻¹, sumando un total de secuestro y almacenamiento de carbono en las plantaciones de bambú de 137,803 tCha⁻¹.

Palabras clave: bambú, plantaciones, biomasa, carbono, secuestro CO₂.

ABSTRACT

The objective of this study was to estimate the amount of carbon stored in bamboo (*Guadua angustifolia* Kunth) plantations, both in aboveground and belowground biomass, as well as in the soil, at the “La Maracuyá I, II and III” farm, a plantation evaluated at 14 years of age, in the hamlet of El Muyo, Aramango district, Bagua province, Amazonas region. The wet weight to dry weight ratio was used to determine the amount of biomass of each selected bamboo plant, and the fresh weights of all morphological parts of the plant (rhizomes, culms, branches, stem leaves, and foliage leaves) were obtained using a destructive method. It was determined that the amount of carbon stored in the biomass of the plantations was 47,829 tCha⁻¹, while the carbon stored in the soil was 89,974 tCha⁻¹, adding up to a total of carbon sequestration and storage in the bamboo plantations of 137,803 tCha⁻¹.

Keywords: bamboo, plantations, biomass, carbon, CO₂ sequestration.

I. INTRODUCCIÓN

El calentamiento global es uno de los retos ambientales más importantes hoy en día. Se distingue por el incremento constante de la temperatura media terrestre, que se produce a causa del acopio de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera. La actividad humana, en particular la deforestación, la quema de combustibles fósiles y las modificaciones en la utilización del suelo, han elevado significativamente los niveles de dióxido de carbono (CO₂) presentes en el aire. Este gas es el principal GEI que ha contribuido al calentamiento registrado en las décadas recientes (IPCC, 2023). El CO₂ se mantiene en la atmósfera por mucho tiempo y su acumulación está fuertemente vinculada con el aumento del efecto invernadero y el calentamiento global.

Según Rastogi (2025), las estrategias tradicionales de captura de carbono a través de bosques maduros son limitadas, pues la tasa neta de captura del CO₂ se reduce cuando un bosque llega a su madurez. Por lo tanto, el estudio y la promoción de especies vegetales que crecen rápidamente y tienen una gran habilidad para fijar carbono en sus primeras fases de desarrollo es un método alentador para atenuar las consecuencias del cambio climático. El bambú es una de estas especies que sobresale; considerado como un recurso vegetal con el crecimiento más acelerado en la Tierra y con un gran potencial para capturar carbono del aire. Recientes investigaciones evidencian que los cultivos de bambú tienen la capacidad de almacenar grandes cantidades de carbono en la biomasa aérea y en el suelo, además de que sus sistemas radiculares ayudan a estabilizar el suelo, disminuyendo la erosión y fomentando la conservación de nutrientes (Espejo Briceño, 2024). También muestra tasas más altas de captura de carbono en comparación con los cultivos anuales, demostrando su importancia ecológica para mitigar el cambio climático (Mastore et al., 2024). La gestión de plantaciones de bambú de manera correcta, serán capaces de absorber carbono convirtiéndose en

sumideros de carbono (Cheng et al., 2025). En Perú, el uso sostenible del bambú es todavía escaso, a pesar de sus numerosos beneficios socioeconómicos y medioambientales, por falta de tecnologías adecuadas y a la investigación científica insuficiente acerca de su potencial para capturar carbono en diversas zonas del país (Espejo Briceño, 2024).

De acuerdo con el problema, sobre la captura de CO₂, que implica el uso del proceso natural de la fotosíntesis para capturar el carbono (C) atmosférico y almacenarlo como biomasa en las plantas y en el suelo, así como trasladarlo a otros espacios de almacenamiento para impedir que sea reemitido a la atmósfera. Ya que los bosques capturan más carbono (C) del que emiten, se les llama "sumideros" de C (Casiano et al., 2022). Desde esa perspectiva, las plantaciones de bambú, en particular las de *Guadua angustifolia* Kunth, se presentan como una opción ecológica estratégica por su veloz crecimiento y su capacidad destacada para absorber dióxido de carbono (CO₂). El bambú no solo supera a muchas especies maderables en la captura de C, sino que promueven la protección del suelo acumulando hojarasca, que mejora la retención de humedad y reduce la erosión (Castillo y otros, 2025).

En la región Amazonas es de necesidad realizar estudios para cuantificar el carbono almacenado en la biomasa y el suelo de las plantaciones de *Guadua angustifolia* Kunth; dificultando el uso del bambú como herramienta para mitigar los efectos del cambio climático y obtener beneficios económicos a través de su participación en mercados de carbono. En esta investigación se planteó el problema siguiente: ¿cuánto carbono se almacena en las plantaciones de bambú del caserío El Muyo, Bagua – Amazonas?

Para llevar a cabo la investigación actual, se formularon dos hipótesis: la primera es la hipótesis nula (H₀), que sostiene que las plantaciones de bambú no almacenan cantidades significativas de carbono, y que el almacenamiento más alto está en la biomasa (aérea y

subterránea) y el más bajo en el suelo de la plantación; la segunda hipótesis es la alterna (Ha), que indica lo contrario.

El objetivo principal planteado para el desarrollo de la presente investigación fue: evaluar el secuestro y almacenamiento de carbono en las plantaciones de bambú (*Guadua angustifolia* Kunth) del caserío El Muyo, Bagua – Amazonas. Los objetivos específicos fueron: calcular el carbono almacenado en la biomasa (aérea y subterránea) de las plantaciones de bambú del caserío El Muyo, en Bagua – Amazonas; calcular el carbono almacenado en el suelo de las plantaciones de bambú del caserío El Muyo, en Bagua – Amazonas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación

Camargo et al. (s.f.) realizaron una investigación en una plantación de guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) establecida en Pereira, Colombia en el año 2003, donde determinaron su patrón de crecimiento y su contribución al secuestro de carbono. La plantación fue establecida con una densidad de 625 plántulas por hectárea, en un área anteriormente utilizada para ganadería. El crecimiento fue evaluado anualmente durante siete años, teniendo en cuenta la emisión de nuevos culmos, la longitud de los mismos y su diámetro basal. La densidad promedio alcanzada a los siete años fue de 11.827 culmos/ha. Para las variables diámetro basal y longitud total de los culmos, el promedio fue 5,1 cm y 10,1 m, respectivamente. Para las tres variables fue posible ajustar modelos que las describen de forma adecuada en función del tiempo, Asimismo, se ajustó un modelo lineal que explica la variabilidad de la longitud total del culmo en función de su diámetro basal. Para la estimación del carbono fijado, se midió la biomasa por medio de muestreo destructivo de culmos y sus compartimentos (rizoma, hojas, ramas). La plantación mostró una capacidad de fijación de 76 t CO₂/ha, de las cuales el 83% se alberga en la parte aérea. Por su rápido crecimiento, la capacidad de fijar carbono y la posibilidad del uso comercial de los culmos, las plantaciones de guadua constituyen una importante opción productiva para regiones con condiciones biofísicas similares.

Aguirre y Criollo (2020) presentaron valores de almacenamiento de C en bosques de *Guadua angustifolia* para Ecuador, Colombia y Bolivia con un rango entre 41,3 tha⁻¹ y 155.5 tha⁻¹, y de acuerdo al estudio Potencial de los bosques de Guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) en la regulación climática, caso eje cafetero Colombiano, estimaron el contenido de C

almacenado en la biomasa en un rodal ubicado en la ciudad de Pereira, resultando un rango que va desde 18 Mg ha⁻¹ a 260 Mg ha⁻¹ y un contenido promedio C de 108 Mg ha⁻¹ (± 63).

Fonseca y Rojas (2016) estimaron la biomasa acumulada y el C acumulado en plantaciones de bambú en Costa Rica, y en el suelo en rodales artificiales de *Dendrocalamus latiflorus*, *Guadua angustifolia* y *Guadua aculeata* y desarrollaron modelos matemáticos para estimar la biomasa y el C. La biomasa se estimó por el método destructivo que consiste en la cosecha del material para obtener el peso húmedo. La fracción de C promedio osciló de 43.3 a 47,2 % entre los diferentes componentes (hojas, ramas, raíz y tronco) en un mismo culmo y de 36.4 a 46.7 % en la vegetación herbácea. El porcentaje de C en el suelo fue de 2.45 %, el C almacenado (incluido el suelo) por hectárea en plantaciones de *Guadua angustifolia* y *Guadua aculeata* fue de 117.74 Mg ha⁻¹ (71 Mgha⁻¹ en el suelo y 46.74 Mgha⁻¹ en la biomasa).

Giraldo (2021) estimó el potencial de mitigación del cambio climático de plantaciones de la especie de bambú *Guadua angustifolia*, establecidas experimentalmente hace 19 años en la región del Eje cafetalero de Colombia, y mediante muestreos destructivos estimó la biomasa aérea, subterránea y el propio suelo para posteriormente estimar el carbono. Resultando así un promedio de 89,6 tC ha⁻¹ en la biomasa, y 50,2 tC ha⁻¹ en el suelo de la plantación. Estos resultados muestran la importancia de la promoción de plantaciones de guadua como una alternativa para la mitigación del cambio climático.

Mastore et al. (2024) evaluaron una plantación de bambú en un ecosistema mediterráneo y determinaron que el C almacenado en la biomasa aumentó significativamente en los primeros años de establecimiento, destacando el papel del bambú como una alternativa viable para estrategias de mitigación climática basadas en soluciones naturales. De manera similar, Cheng et al. (2025) señalaron que el manejo adecuado de plantaciones de bambú

puede incrementar el almacenamiento de C en el suelo, reforzando de esta manera su valor ambiental. Esta evidencia que estas pueden alcanzar tasas de secuestro de carbono comparables o superiores a las de especies forestales tradicionales.

Espejo Briceño (2024) evaluó la captura de carbono en especies de bambú en la Amazonía peruana, concluyendo que estas presentan una elevada capacidad de almacenamiento de carbono, particularmente en plantaciones jóvenes, lo que las convierte en una alternativa sostenible frente a otros sistemas productivos. Asimismo, estudios realizados en plantaciones de *Guadua angustifolia* han reportado valores importantes respecto al carbono almacenado en la biomasa aérea, demostrando de esta manera su contribución al balance de carbono y su posible inclusión en esquemas de compensación de emisiones (Miguel & Díaz Quintana, 2025).

Núñez y Ramírez (2022) realizaron la estimación del potencial de captura de carbono en plantaciones de *Guadua angustifolia* del distrito Río Negro, provincia Satipo, el objetivo fue determinar la estimación del potencial de captura de carbono en las plantaciones de *Guadua angustifolia* del distrito de Río Negro, provincia de Satipo, para ello se calculó la biomasa aérea, suelo y necromasa. El estudio corresponde a un tipo de investigación aplicada de nivel descriptivo, explicativo. La población fue de 1,82 ha, trabajando en 5 parcelas de 10x25 m con un muestreo aleatorio simple en ellas se realizó un inventario tomando datos de DAP (1,30 m), asimismo se derribaron 3 culmos para medir la longitud luego desramarlos y deshojarlos, por otro lado la necromasa se evaluó en un área de 1 m x 1 m, donde se recolectó material diverso (hojarascas, corteza, ramas, etc.) además se sacaron muestras de suelo para ser enviadas al laboratorio, de este modo se obtuvo como resultados que el potencial de captura de carbono de *Guadua angustifolia* en la biomasa aérea fue de 36,977 tC ha⁻¹, 33,69 tC ha⁻¹ para el suelo, 0,36 tC ha⁻¹ en la necromasa y el potencial de captura de carbono total

tuvo un valor de $71,041 \text{ tC ha}^{-1}$, concluyendo que el potencial en la biomasa aérea fue mayor al potencial del suelo y la necromasa. La importancia del estudio radica en preservar y mejorar las reservas de carbono en las plantaciones de bambú aportando con sus beneficios al medio ambiente y al hombre.

Ramos (2022) a través del equipo de Investigaciones de la Amazonía Peruana, ha desarrollado tecnología para realizar una clonación y captura de C de tres especies de bambú nativo en las microcuencas del Ucayali, donde Jorge Revilla, quien es el principal investigador del proyecto, refiere que la investigación está centrada en la captura de C, cabe resaltar que la planta en el proceso de fotosíntesis fija C de la atmósfera y va liberando O_2 , para así mejorar la calidad de vida de los pobladores y enfrentar el cambio climático. Según una línea base de estudios da referencia que 1 ha de bambú captura 45 % más de CO_2 que 1 ha de eucalipto, produciendo 5 veces más O_2 en comparación de otros árboles, cabe resaltar que va generando hasta 40 tha^{-1} de biomasa cada año, por lo que es considerado como una especie principal en la lucha contra los GEI. Cuando se llegue a replicar las cantidades suficientes de plantas, se va a capturar hasta 50 tCha^{-1} , dio a conocer Revilla.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Plantaciones de bambú

El bambú ha adquirido una importancia creciente dentro de las políticas forestales nacionales. De acuerdo con la Sociedad Peruana de Derecho Ambiental (SPDA, 2022), el Perú cuenta con aproximadamente 3000 ha de plantaciones de bambú distribuidas principalmente en los departamentos de Cajamarca, Piura, Amazonas y San Martín. Asimismo, en regiones amazónicas como Ucayali, Madre de Dios y Cusco existen extensas áreas de bosques nativos con presencia de bambú, los cuales constituyen un importante

reservorio de biodiversidad y carbono. Estas cifras reflejan el alto potencial del bambú como recurso forestal no maderable con valor ambiental y económico.

El departamento de Amazonas registra una expansión progresiva de las plantaciones de bambú. Según reportes oficiales del Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR, 2021, 2023), se han identificado cerca de 500 hectáreas de plantaciones de bambú, concentrándose la mayor superficie en la provincia de Bagua. Este crecimiento se da en un escenario donde la región Amazonas enfrenta elevados índices de deforestación; solo en el año 2019 se reportaron más de 5800 hectáreas deforestadas, actividad que contribuye significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero y a la degradación de los ecosistemas forestales (MINAM, 2022).

Frente a esta problemática, las plantaciones de bambú se presentan como una alternativa sostenible para el uso eficiente del recurso forestal no maderable, actuando como una medida de adaptación y mitigación al cambio climático. Diversos estudios recientes destacan que el bambú, debido a su rápido crecimiento, elevada producción de biomasa y capacidad de secuestro de carbono, puede contribuir a reducir la vulnerabilidad de las poblaciones rurales, mejorar la estabilidad de los suelos y generar oportunidades económicas sostenibles (INBAR, 2022; FAO & INBAR, 2023).

Entre las especies forestales promovidas en los programas de reforestación y restauración productiva, *Guadua angustifolia* Kunth ha mostrado una creciente aceptación en los últimos años, debido a su corto período de crecimiento y a la amplia gama de productos y servicios ecosistémicos que ofrece, tales como la captura de carbono, la regulación hídrica y la provisión de materias primas sostenibles (Zamora, 2022; SERFOR, 2023). Sin embargo, esta especie enfrenta diversos desafíos que limitan su competitividad, entre ellos la deficiencia técnica en el manejo de las plantaciones, el uso de prácticas empíricas de bajo

rendimiento, el aprovechamiento inadecuado por intermediarios y el limitado conocimiento de los múltiples usos y servicios ecosistémicos que brinda el bambú (SERFOR, 2021; SPDA, 2022). En consecuencia, resulta fundamental fortalecer la investigación científica orientada al manejo sostenible de las plantaciones de *Guadua angustifolia*, así como a la cuantificación de los servicios ecosistémicos que ofrece, especialmente en relación con el secuestro y almacenamiento de carbono, con el fin de respaldar su inclusión en estrategias de mitigación del cambio climático y desarrollo rural sostenible.

2.2.2. Secuestro y almacenamiento de carbono

En América Latina, los estudios sobre bambú y carbono han cobrado relevancia en la última década. Investigaciones recientes en ecosistemas tropicales han demostrado que las plantaciones de bambú contribuyen de forma importante al almacenamiento de carbono del ecosistema, especialmente en la biomasa aérea y en el suelo, donde se concentra una proporción significativa del carbono total (FAO, 2022). Estos resultados posicionan al bambú como un recurso estratégico para programas de mitigación del cambio climático y mercados de carbono en países en desarrollo.

En la actualidad, el bambú es considerado como una especie con alto potencial para el secuestro y almacenamiento de carbono, debido a su rápido crecimiento, elevada producción de biomasa y capacidad de regeneración continua. Estudios recientes han demostrado que las plantaciones de bambú pueden actuar como sumideros efectivos de C, almacenándolo tanto en la biomasa aérea y subterránea como en el suelo, contribuyendo de manera significativa a la mitigación del cambio climático (IPCC, 2023). El secuestro de carbono constituye un servicio ecosistémico clave que contribuye a la mitigación del cambio climático, ya que permite la absorción y almacenamiento del carbono atmosférico en forma de biomasa vegetal y carbono orgánico del suelo. Este proceso se basa en la capacidad de las plantas leñosas para

captar dióxido de carbono (CO₂) durante la fotosíntesis y transformarlo en compuestos orgánicos que permanecen almacenados durante largos periodos (FAO, 2022). El secuestro y almacenamiento de carbono mediante soluciones basadas en la naturaleza representa una estrategia eficaz para reducir las concentraciones de CO₂ a nivel global (IPCC, 2023).

Diversos estudios recientes señalan que el secuestro de carbono mediante bosques y plantaciones forestales contribuye significativamente a la reducción de emisiones, al permitir que el carbono capturado sea almacenado tanto en la biomasa aérea y subterránea como en el suelo (Griscom et al., 2020; Lal, 2021). Sin embargo, la capacidad de secuestro varía según la especie, edad del cultivo, densidad de plantación y características de la madera, así como por los procesos fisiológicos asociados a la respiración vegetal, que devuelven parte del carbono capturado a la atmósfera (Pan et al., 2023).

Desde el punto de vista fisiológico, los árboles y plantas leñosas absorben CO₂ durante la fotosíntesis, utilizando la energía solar y el agua para sintetizar carbohidratos, almacenando el carbono en tejidos vegetales y liberando oxígeno (O₂) como subproducto. Este carbono queda distribuido en la biomasa aérea, las raíces y el suelo, constituyendo diferentes reservorios de carbono dentro del ecosistema forestal (Duval et al., 2022). No obstante, la eficiencia del secuestro depende del tipo de especie y de su dinámica de crecimiento.

El bambú ha cobrado especial relevancia debido a su rápido crecimiento y elevada productividad de biomasa, lo que le confiere una alta capacidad para capturar y almacenar carbono atmosférico en periodos cortos. Investigaciones recientes destacan que las plantaciones de bambú pueden presentar tasas de secuestro de carbono superiores a las de muchas especies forestales tradicionales, especialmente durante los primeros años de crecimiento (Yuen et al., 2021; Mastro et al., 2024). Asimismo, la cosecha selectiva y el

manejo sostenible del bambú permiten mantener una alta tasa fotosintética, prolongando el almacenamiento del carbono en productos de larga vida útil, como materiales de construcción y muebles, lo que contribuye a fijar el CO₂ por periodos extendidos (INBAR, 2022).

Los estudios resaltan que el bambú desempeña un papel relevante en la provisión de múltiples servicios ecosistémicos, incluyendo la reducción de la erosión del suelo, mejora de la fertilidad edáfica, regulación del microclima y el mantenimiento del equilibrio atmosférico entre oxígeno y carbono (Pan et al., 2023). Además, su potencial para proyectos de compensación de emisiones y mercados de carbono lo convierte en una alternativa estratégica para el desarrollo sostenible y la reducción de la pobreza rural (FAO & INBAR, 2023). Estudios demuestran que, una ha de bambú puede generar elevadas cantidades de biomasa anual y capturar mayores volúmenes de CO₂ en comparación con especies forestales convencionales, posicionándolo como una de las plantas más prometedoras en la lucha contra los efectos del cambio climático (Yuen et al., 2021; Mastro et al., 2024). En consecuencia, el estudio del secuestro y almacenamiento de carbono en plantaciones de bambú, particularmente de *Guadua angustifolia* Kunth, es fundamental para sustentar científicamente su inclusión en estrategias de mitigación climática y desarrollo rural sostenible.

2.2.3. Ciclo del carbono

El ciclo del carbono (C) integra los procesos mediante los cuales este elemento químico se intercambia entre los principales componentes ambientales como la atmósfera, la biosfera terrestre y acuática, los océanos y la litosfera. Este ciclo biogeoquímico describe las transformaciones e interconversiones del carbono entre sus distintas formas químicas, como resultado de su alta reactividad y de procesos biológicos, físicos y químicos que sostienen la vida en el planeta (Friedlingstein et al., 2023). Entre los procesos más relevantes del ciclo del carbono destacan la captación biológica del dióxido de carbono (CO₂) a través de la

fotosíntesis y su liberación a la atmósfera mediante la respiración y la descomposición de la materia orgánica.

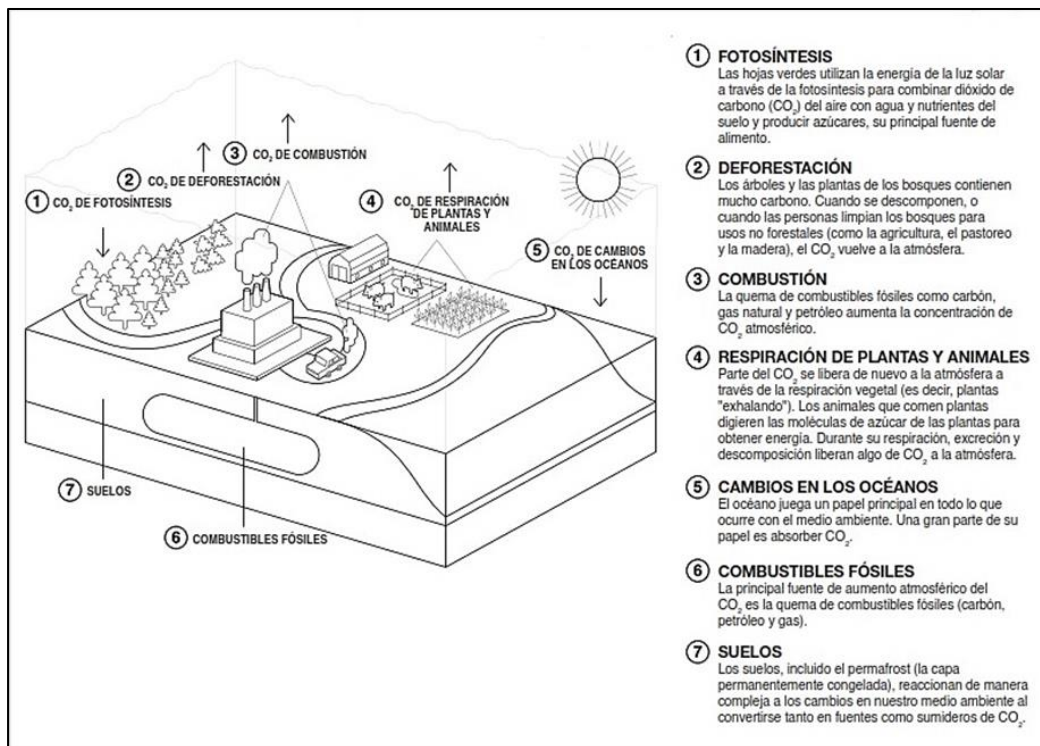
El conocimiento del ciclo global del carbono es fundamental debido a su estrecha relación con el cambio climático, particularmente por el incremento antropogénico de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera. De acuerdo con el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2023), la concentración de CO₂ atmosférico ha aumentado desde valores preindustriales cercanos a 280 ppm hasta superar las 420 ppm en la actualidad. Aunque el CO₂ no posee el mayor potencial de calentamiento global en comparación con otros gases de efecto invernadero, es el principal responsable del calentamiento global debido a su elevada concentración y larga permanencia en la atmósfera.

La vegetación y el suelo de los ecosistemas terrestres son sumideros naturales de carbono, ya que tienen la capacidad de absorber carbono atmosférico e incorporarlo en la biomasa vegetal, microbiana y en la materia orgánica del suelo. Este proceso es conocido como secuestro de carbono y constituye un mecanismo clave para la regulación del clima global (Friedlingstein et al., 2023; IPCC, 2023). La captura de carbono se produce principalmente mediante la fotosíntesis, mientras que su retorno a la atmósfera ocurre a través de la respiración, la descomposición y, en algunos casos, la combustión. No todo el CO₂ asimilado por las plantas es transformado en biomasa permanente, ya que una fracción significativa es devuelta a la atmósfera como resultado de los procesos fisiológicos de respiración. Para estimar el carbono almacenado en una especie vegetal, se emplean factores de conversión ampliamente aceptados, los cuales indican que, en promedio, aproximadamente el 50 % de la biomasa seca corresponde a carbono, considerando todos los componentes de la planta (IPCC, 2019; IPCC, 2023). Este enfoque permite cuantificar de manera estandarizada el carbono almacenado en ecosistemas forestales y plantaciones.

Los estudios señalan que la deforestación y la degradación de los bosques constituyen una de las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero, debido a la liberación del carbono almacenado en la biomasa y en los suelos en forma de CO₂ y otros GEI, como el metano (FAO & UNEP, 2020; IPCC, 2023). Cuando los bosques y plantaciones se encuentran en crecimiento, actúan como sumideros de carbono, reteniendo el CO₂ atmosférico y mediante la fotosíntesis se convierten en biomasa y el suelo.

Figura 1

Ciclo del dióxido de carbono



Fuente. De la NASA (s.f., p. 2)

(https://climate.nasa.gov/system/downloadableitems/300Carbon_Cycle_04_20_20_Espanol.pdf).

En los ecosistemas terrestres, la vía biológica representa el principal flujo de carbono desde la atmósfera hacia la vegetación y el suelo. Este flujo involucra múltiples procesos

interrelacionados que mantienen un equilibrio dinámico en el intercambio de gases entre la atmósfera, las plantas y el suelo. El ciclo del carbono funciona principalmente a través de la fotosíntesis, la respiración, las emisiones derivadas del uso de combustibles fósiles y ciertos fenómenos naturales, como las erupciones volcánicas (Friedlingstein et al., 2023). En conjunto, estos procesos regulan la cantidad de carbono presente en los distintos reservorios del planeta y determinan el balance global de carbono, el cual es esencial para la estabilidad climática de la Tierra. Walker et al. (2007) afirman que, para entender mejor la ruta fotosintética del carbono, el cual es secuestrado en la biomasa y después parcialmente incorporado al suelo y su cuantificación, se tiene que hacer un cálculo de estos dos recipientes mayores. Luego, se consolida de la sumatoria definida por:

$$CT = CB + CS$$

Donde:

CT= Carbono total.

CB= Carbono biomasa (aérea y subterránea).

CS= Carbono suelo.

2.2.4. El carbono en el suelo

Según Dopa (s.f) el COS es el C que permanece en el suelo luego de descomposición parcial de cualquier material producido por organismos vivos. Dependiendo de la geología local, las condiciones climáticas y el uso y la gestión del suelo (entre otros factores), los suelos tienen diferentes cantidades de COS. El COS es una pequeña parte del ciclo global del C el cual implica el ciclo del C a través del suelo, la vegetación, el océano y la atmósfera. Se estima que la reserva de COS almacena 15 X00 PgC en el primer metro de suelo, lo cual supone más C que el contenido en la atmósfera (aproximadamente 800 PgC) y la vegetación

terrestre (500 PgC) combinados. Este extraordinario reservorio de COS no es estático, sino que está constantemente circulando entre las diferentes reservas mundiales de C en formas moleculares diversas (Kane, como se cita en FAO, 2017).

Organismos autótrofos como en plantas, y microbios y quimio-autótrofos sintetizan el CO₂ atmosférico en material orgánico. El material orgánico muerto (principalmente en forma de residuos vegetales y exudados) es incorporado al suelo por la fauna del mismo, lo que conlleva la entrada de C en el suelo a través de la transformación del material orgánico por microorganismos heterótrofos. Este proceso de transformación de materiales orgánicos da como resultado una mezcla biogeoquímica compleja de residuos vegetales y productos de descomposición microbiana en varias etapas de descomposición (Von Lützow et al., 2006, como se cita en Paul, 2014), que pueden asociarse con minerales del suelo y ocluirse dentro de agregados, permitiendo la persistencia del COS durante décadas, siglos o incluso milenios (Schmidt et al., 2011). El CO₂ se emite de vuelta a la atmósfera cuando la MOS es descompuesta (o mineralizada) por microorganismos. Finalmente, el C también es parcialmente exportado de los suelos a ríos y océanos como carbono orgánico disuelto (COD) o como parte del material de erosión. Los factores de la descomposición de la MOS incluyen la temperatura del suelo y el contenido de agua (principalmente determinado por las condiciones climáticas), que influyen mucho en el almacenamiento del C del suelo por su efecto sobre la actividad microbiana (FAO, 2017).

En general, los contenidos del COS tienden a disminuir con la profundidad. A la vez, los cambios más fuertes en la reserva de C en el suelo obedecen a las modificaciones en la cobertura terrestre y tiene lugar en los primeros 20-30 cm; y por sus variados orígenes el COS o la MOS no es un material homogéneo, por eso, se categoriza en dos fracciones. Una, la fracción lábil que es más susceptible a su descomposición o mineralización. Otra, la fracción

recalcitrante y por lo mismo estable. En la primera se hallan materiales de escasa permanencia en el suelo como los residuos de plantas y microorganismos en diferentes estadios de descomposición. En la segunda, hay participación mayoritaria de sustancias húmicas de lenta descomposición, como resultado de su alto peso molecular, de sus estructuras complejas, irregulares y aromáticas y de su interacción con los constituyentes minerales del suelo. Por lo señalado, el COS lábil es más activo y de una respuesta más rápida a la gestión y al manejo que el COS estable. Conocer estas fracciones del COS es indispensable para entender y modelar su dinámica y para prever sus respuestas en el contexto del cambio climático global (Armas et al., como se cita en Burbano, 2018).

2.2.5. El bambú

El bambú (*Guadua angustifolia* Kunth) es una planta de tallo leñoso perteneciente a la familia Poaceae, caracterizada por su rápido crecimiento y elevada eficiencia fotosintética. Al igual que otras especies vegetales, posee la capacidad de captar dióxido de carbono (CO₂) atmosférico y liberar oxígeno (O₂), desempeñando un rol relevante en el equilibrio de los gases atmosféricos. Diversos estudios recientes destacan que el bambú presenta tasas de fijación de carbono superiores a muchas especies forestales leñosas, lo que lo convierte en una alternativa estratégica para la mitigación del cambio climático (INBAR, 2021; FAO, 2022). Asimismo, su sistema radicular rizomatoso contribuye significativamente a la retención de agua, estabilización del suelo y reducción de procesos erosivos, favoreciendo la recuperación de áreas degradadas (FAO & INBAR, 2023).

Se estima que existen más de 1600 especies de bambú, distribuidas principalmente en regiones tropicales, subtropicales y templadas, gracias a su elevada adaptabilidad ecológica.

En zonas tropicales y cálidas, como la Amazonía y los Andes tropicales, las especies de bambú suelen presentar rizomas paquimorfos, formando macollas densas, mientras que en

regiones templadas predominan los rizomas leptomorfos, con crecimiento más disperso (FAO, 2022; Vorontsova et al., 2023). Investigaciones recientes reportan que 1 ha de bambú puede absorber entre 20 y 30 t de CO₂ por año, acumulando grandes reservas de “C” en su biomasa aérea y subterránea durante sus primeros años de crecimiento, especialmente en sistemas de plantaciones manejadas sosteniblemente (INBAR, 2022; Singh et al., 2021).

El rápido crecimiento del bambú, bajos costos de establecimiento, la alta demanda comercial y versatilidad de usos en la construcción, bioingeniería, artesanía y servicios ecosistémicos lo posicionan como una de las especies forestales de mayor rendimiento ambiental y económico. Siendo un recurso forestal no maderable, su aprovechamiento sostenible contribuye a disminuir la presión sobre los bosques naturales, reforzando su papel como alternativa viable frente a la deforestación y como herramienta eficaz para la adaptación y mitigación del cambio climático (FAO & UNEP, 2023; INBAR, 2024).

2.2.6. El bambú en el Perú

La caña guayaquil es la especie de bambú más utilizada en el Perú presentando una considerable cantidad de usos, muchos de los cuales no presentan un mayor grado de procesamiento. Las plantaciones de bambú en el Perú han sido instaladas casi en su totalidad en las provincias del nororiente del país, en las regiones de Cajamarca, Lambayeque, Piura y Amazonas, principalmente en las zonas medias y altas de las cuencas (Añazco y Rojas, 2015). En el Perú, se reportan 7 géneros con 39 especies de bambúes leñosos, que comúnmente reciben el nombre de bambú. Adicionalmente, se encuentra una nueva especie en descripción en la localidad de Ocol Molinopampa (Chachapoyas); con relación a los bambúes herbáceos, se tiene 6 géneros con 27 especies (Reátegui, 2020, como se citó en Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR, 2021).

En la región de Amazonas, existen grandes extensiones de área con plantaciones de *Guadua angustifolia* Kunth, conocida regionalmente como caña guayaquil (Londoño, 2013, como se cita en SERFOR / INBAR, 2018); instaladas principalmente en las provincias de Bagua (Aramango, Imaza, Copallín), Condorcanqui (Nieva, El Cenepa y Río Santiago), Bongará (Jazán, Churuja, Shipasbamba, Yambrasbamba, Cuispes y Valera) y Utcubamba (Utcubamba); las primeras áreas instaladas con bambú datan de los años 60 en el distrito de Aramango, dichas plantaciones fueron instaladas por personas que migraron desde el departamento de Cajamarca, asentándose principalmente en el distrito de Aramango (El Muyo), provincia de Bagua (SERFOR, 2021).

2.2.7. Importancia ambiental del bambú

El bambú (*Guadua angustifolia* Kunth) constituye una especie vegetal de alto valor ambiental y socioeconómico, debido a los múltiples beneficios que aporta tanto al medio ambiente como al ser humano. (INBAR, 2022; FAO, 2023). El rápido crecimiento favorece una elevada producción de biomasa, desempeñando un papel fundamental en la dinámica del suelo, en donde estudios realizados señalan que las plantaciones de bambú pueden aportar entre 2 y 5 t/ha/año de biomasa aérea al suelo (representando aproximadamente entre el 10% y 15% del total de la biomasa producida anualmente) contribuyendo a la mejora de la estructura, textura y fertilidad del suelo mediante la incorporación de materia orgánica (INBAR, 2021; Zhou et al., 2022).

Entre los servicios ecosistémicos más relevantes del bambú destaca su capacidad de protección de cuencas hidrográficas y taludes en zonas de riesgo. Asimismo, desempeña un rol clave en la regulación hídrica de los ecosistemas (INBAR, 2023; FAO & UNEP, 2023). En este contexto, las plantaciones de bambú cumplen un papel ecológico relevante al propiciar la conservación y sostenibilidad de la biodiversidad, albergando comunidades de

flora, microflora, entomofauna, aves, mamíferos, reptiles y anfibios (FAO & INBAR, 2022; INBAR, 2024).

La abundante producción de hojarasca favorece la formación de una capa superficial de materia orgánica que enriquece el suelo con carbono y nutrientes esenciales, mejorando su capacidad de retención de humedad y su fertilidad (Bali et al., 2021; FAO, 2022). En estos tipos de ecosistemas dominados por bambú, la tasa de descomposición de la hojarasca es relativamente lenta debido a su alto contenido de sílice, lo que favorece la acumulación de un mantillo protector sobre el suelo (Zhou et al., 2022; Vorontsova et al., 2023). Estas características posicionan al bambú como una especie estratégica dentro de las soluciones basadas en la naturaleza frente al cambio climático (FAO & UNEP, 2023; Zhou et al., 2022).

2.2.8. El bambú como producto forestal

El bambú es reconocido como un producto forestal no maderable (PFNM), en diversas regiones del mundo como, en Asia, África y algunas zonas de América Latina, se desarrollan de manera natural dentro de ecosistemas forestales y es aprovechado sin necesidad de tala del bosque. No obstante, en América Latina el bambú presenta predominantemente un perfil agroforestal, ya que su establecimiento se realiza principalmente en sistemas productivos, tales como cercas vivas, bordes de parcelas agrícolas, sistemas silvopastoriles y plantaciones asociadas a cultivos permanentes y transitorios (FAO & INBAR, 2022; INBAR, 2023).

Gracias a su rápido crecimiento y alta productividad, el bambú ha sido objeto de investigaciones orientadas a evaluar sus beneficios ambientales, entre los que destacan el secuestro y almacenamiento de carbono, la protección del suelo, la reducción de la erosión, la función de cortinas rompevientos y la mejora del microclima local (FAO & UNEP, 2023;

Zhou et al., 2022). El bambú se posiciona como una especie de alto rendimiento productivo y ambiental, por contribuir de manera significativa para mitigar los efectos del calentamiento global y al desarrollo sostenible de las zonas rurales (INBAR, 2022; FAO, 2023).

2.2.9. Beneficios del bambú como agente de restauración ecológica

El bambú como especie vegetal genera beneficios esenciales para la conservación y mejora del suelo, destacándose por su elevada capacidad de absorción de agua y carbono, su rápido crecimiento, su función estabilizadora del sustrato y su eficacia en el control de la erosión. Su extenso sistema de rizomas favorece la fijación del suelo, la conservación de nutrientes y la retención de humedad, permitiendo el establecimiento de plantaciones en suelos degradados, marginales o con baja fertilidad, donde muchas especies forestales nativas presentan dificultades para desarrollarse. Estas características hacen del bambú un recurso clave para la restauración ecológica y el sostenimiento de los medios de vida rurales (FAO, 2022; INBAR, 2023).

El bambú forma un dosel continuo y permanente que protege el suelo de la radiación solar directa y del impacto de la lluvia, reduciendo la compactación y el escurrimiento superficial. Esta cobertura vegetal favorece la estabilidad del microclima edáfico y contribuye a la regeneración de ecosistemas degradados, fortaleciendo la resiliencia de los sistemas productivos frente al cambio climático (FAO & UNEP, 2023).

Debido a su elevado índice de crecimiento y a su notable capacidad de regeneración anual después de la cosecha, los bosques y plantaciones de bambú presentan un alto potencial de absorción y almacenamiento de carbono. Investigaciones recientes indican que la tasa anual de fijación de carbono en bambúes jóvenes puede superar a la de bosques tropicales húmedos y a la de plantaciones forestales convencionales, manteniendo un patrón de captura

relativamente estable en el largo plazo. Esto se debe a que, aunque parte de la biomasa es removida durante la cosecha, su reposición se produce rápidamente en una sola temporada de crecimiento, manteniendo constante el balance de carbono del sistema (Zhou et al., 2022; INBAR, 2024).

A diferencia de las plantaciones maderables tradicionales, donde la absorción de C sigue una curva decreciente asociada a la edad del rodal y a los ciclos de tala, los sistemas de cultivo de bambú presentan un perfil de almacenamiento de carbono más uniforme a lo largo del tiempo. Esta característica convierte al bambú en una especie forestal eficiente en términos de fijación de carbono atmosférico, independientemente del uso final de sus productos (FAO & INBAR, 2022). Otra característica distintiva del bambú es su elevada producción de biomasa, la cual contribuye significativamente a la restauración de la productividad del suelo. La acumulación de hojarasca y residuos vegetales incrementa el contenido de materia orgánica, elemento esencial para la disponibilidad de nutrientes, la actividad microbiana y la mejora de la estructura del suelo. Este proceso favorece la sostenibilidad de los sistemas agroforestales basados en bambú y fortalece su función como sumidero de carbono en ecosistemas terrestres (Zhou et al., 2022; Vorontsova et al., 2023).

2.2.10. El bambú como especie competitiva para la fijación de carbono

La *Guadua angustifolia* Kunth desempeña un rol significativo en la mitigación de los gases de efecto invernadero (GEI), especialmente del dióxido de carbono (CO₂), debido a su rápido crecimiento y a su producción continua de nuevo material vegetativo. Esta dinámica fisiológica genera una acumulación sostenida de biomasa aérea y subterránea, lo que favorece la fijación y el almacenamiento de carbono atmosférico, contribuyendo de manera efectiva a la mitigación del cambio climático (FAO & INBAR, 2022; INBAR, 2024).

El bambú es uno de los vegetales más versátiles y eficientes en la producción de biomasa, superando a la mayoría de especies forestales tradicionales. Su elevada eficiencia fotosintética le permite captar grandes volúmenes de CO₂, incluso en proporciones superiores a las observadas en bosques arbóreos convencionales. Estudios recientes indican que las plantaciones de bambú pueden alcanzar tasas de acumulación de carbono superiores a 50 t ha en los primeros años de establecido, siendo una especie estratégica en programas de mitigación climática (Zhou et al., 2022; INBAR, 2023). La característica más destacada del bambú es su extraordinaria velocidad de crecimiento, la cual puede ser hasta tres veces mayor que la de especies arbóreas utilizadas para la producción maderable. Esta condición confiere dos ventajas fundamentales desde el punto de vista ambiental: una alta tasa de captura de CO₂ y elevados niveles de productividad biológica, lo que incrementa su potencial como sumidero de carbono a corto y mediano plazo (FAO, 2023; Vorontsova et al., 2023).

La especie *Guadua angustifolia* se desarrolla principalmente en ambientes cálidos y húmedos, condiciones que favorecen una alta actividad fotosintética y una producción significativa de biomasa. Su sistema fisiológico presenta una elevada eficiencia en el intercambio gaseoso, lo que facilita la captación de CO₂ y la liberación de oxígeno (O₂), además de una mayor eficiencia en el uso del agua. Estas características convierten a esta especie en una alternativa altamente recomendable para proyectos de secuestro de carbono y restauración ecológica (INBAR, 2022; FAO & UNEP, 2023).

A diferencia de las especies arbóreas, los culmos del bambú no incrementan su diámetro después del primer año de crecimiento; sin embargo, la biomasa total del sistema aumenta continuamente debido al reclutamiento constante de nuevos culmos. Este proceso garantiza una incorporación anual de carbono al sistema. Aunque los culmos sobremaduros eventualmente mueren y liberan parte del carbono almacenado, una fracción considerable

permanece retenida en la biomasa subterránea, especialmente en los rizomas, los cuales actúan como reservorios estables de carbono a largo plazo. Esta característica otorga al bambú una ventaja ecológica frente a otros sistemas forestales en términos de almacenamiento sostenido de carbono (Zhou et al., 2022; INBAR, 2024).

Las plantaciones de bambú presentan un alto potencial para su inclusión en mecanismos de mitigación climática basados en el mercado, tales como proyectos de compensación de emisiones y esquemas voluntarios de carbono. Su capacidad de regeneración natural, combinada con prácticas de manejo sostenible como la cosecha selectiva, permite mantener una captura permanente de CO₂ sin comprometer la estabilidad del sistema productivo. Adicionalmente, el rizoma paquimorfo característico del bambú actúa como un almacén permanente de productos de la fotosíntesis, facilitando la fijación de carbono que no es removido durante la cosecha, fortaleciendo su rol como sumidero de carbono de largo plazo (FAO & INBAR, 2022; INBAR, 2023).

Riaño et al. (2002) estudiaron guadales en el Valle del Cauca - Colombia, para determinar la biomasa acumulada del bambú en relación con su edad. Las mediciones se realizaron en las plantas con edades comprendidas entre los 6 y 72 meses, se extrajeron la totalidad de la planta de la muestra, incluyendo los rizomas. Las mediciones realizadas del número de órganos, peso fresco y seco, permitieron obtener modelos matemáticos. Dicha investigación dio como resultado final que el atrapamiento de carbono es de 54,3 t ha⁻¹ en 6 años (Tabla 1). En esa misma investigación, los autores también determinaron que un bosque natural posee 5755 plantas en promedio, lo cual permite atrapar 132,6 t Cha⁻¹ (Tabla 2).

Tabla 1*Peso seco y potencial de captura de carbono en plantaciones de bambú*

Órgano de la planta	Peso seco (T/ha)	Carbono atrapado (T/ha)
Rizomas	21,6	10,8
Culmos	79,1	39,5
Ramas	4,6	2,3
Hojas caulinares	0,4	0,2
Follaje	2,96	1,48
Total por hectárea	108,7	54,3

Fuente. Riaño et al. (2002).

Tabla 2*Cantidad de carbono fijado por órgano y total en un bosque natural*

Conceptos	Raíces	Rizomas	Tallos	Hojas caulinares	Ramas	Hojas	Total
Peso verde por planta (kg)	4,23	18,46	54,39	2,15	9,67	2,98	91,88
Peso verde (T/ha)	24,3	106,2	313,0	12,3	55,7	17,1	528,74
Contenido de materia seca (T/ha)	13,4	51,3	156,9	6,2	29,3	8,1	265,2
Carbono atrapado (T/ha)	6,7	25,7	78,5	3,1	14,6	4,0	132,6

Fuente: Riaño et al. (2002).

2.2.11. Taxonomía y morfología de la *Guadua angustifolia* Kunth**Clasificación taxonómica**

Sistema de Clasificación APG IV (acrónimo del inglés, Angiosperm Phylogeny Group; en su cuarta versión) (Catálogo de Sociedades de Vida, 2017), la especie se clasifica de la manera siguiente:

Reino : Plantae
Filo : Traqueophyta
Clase : Liliopsida/monocotiledónea
Subclase : Commelinidae Takht
Orden : Poales
Familia : Poaceae
Género : Guadua Kunth
Especie : *Guadua angustifolia* Kunth

Nombres comunes: Caña guayaquil, guayaquil, bambú, guadua.

Descripción morfológica

Las características de cada uno de los componentes se presentan a continuación:

Rizomas (d). Paquimorfo y con apariencia de lagarto (longitudes de 20-40 cm y ancho de 20 cm), esencialmente están compuestos por dos partes: el cuello que es una porción estrecha entre nodal que no posee yemas y propiamente el rizoma donde las yemas están presentes en los nudos; desarrolla 3 a 4 soportes de rizomas por cada lado, con diámetros de 5 cm; presenta raíces adventicias cilíndricas en la parte alta y frontal del rizoma (Londoño, 2010).

Renuevos (c). Una vez formado el rizoma se inicia la fase de renuevo, el cual siempre emerge con un diámetro de tallo definido debido a que no posee células de cambium o procambium que diferencien sus tejidos hacia fuera haciéndolo engrosar. Durante los primeros 30 días alcanza 4 a 6 cm de altura en 24 h, el 60 % de este crecimiento es durante la

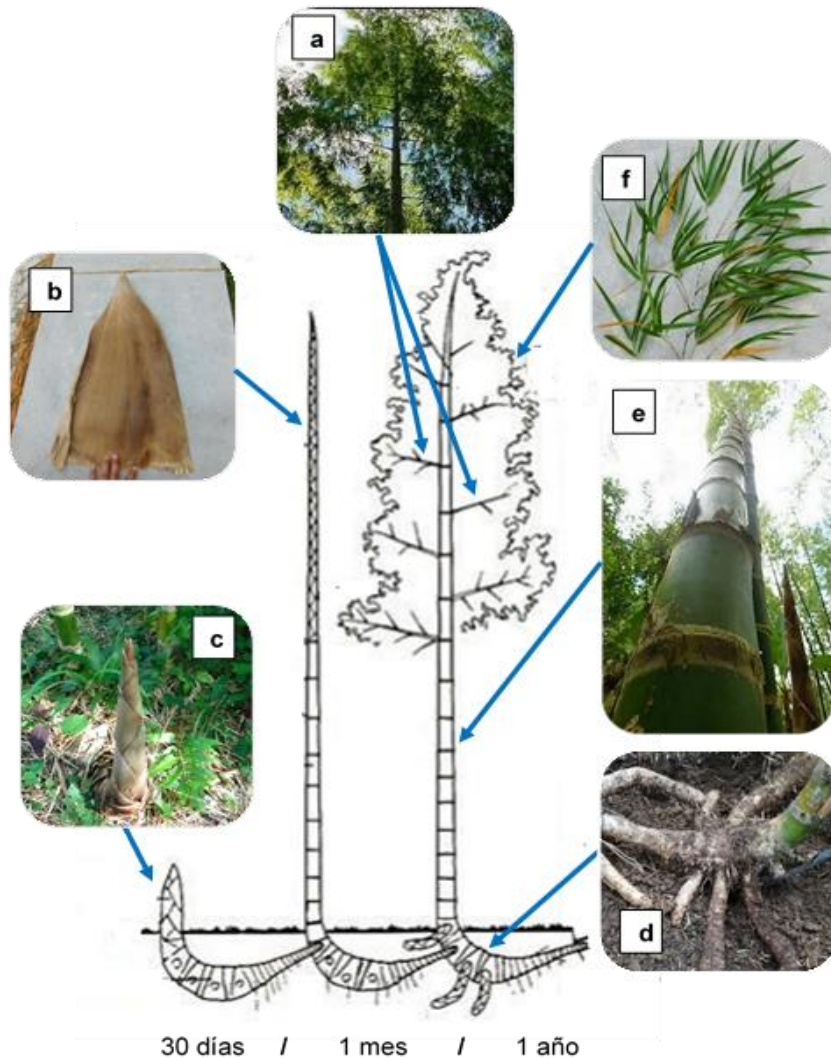
noche; después de los 90 cm de altura el promedio de crecimiento es de 9 a 11 cm por cada 24 h (Londoño, 2010).

Culmo (e). Los culmos de *Guadua* difieren de las otras especies de su género principalmente en el diámetro (10-15 cm), largo (15 -20 m) y grosor de las paredes; con diámetros medianos (9-16 cm) y paredes de gran grosor, con entrenudos basales que se caracterizan por ser no tan cortos y de pared gruesa. A través del tallo se destacan dos partes importantes: los nudos y los entrenudos. El nudo es el área del tallo donde crecen ramas con hojas a partir de una yema nodal, los entrenudos son cilíndricos y huecos, tienen un promedio de 40 cm de longitud, el diámetro entre 10 y 12 cm y las paredes con grosores entre 1 y 2 cm, su textura es dura y consistente. Los culmos presentan color verde con rayas verdes más oscuras cuando joven, luego se torna verde amarillento a verde grisáceo con la edad, erecto en la base y arqueado apicalmente (Londoño, 2010).

Hojas caulinares (b). Hojas modificadas de una fuerte consistencia coriácea, de forma triangular, de color café-rojizo, deciduas, sin embargo, permanecen más tiempo adheridas sobre el culmo en la porción más basal y protegen las yemas. Se encuentran en el rizoma, en el tallo durante los primeros estadios del desarrollo y en las ramificaciones de la planta donde existen nudos con yemas. Su dimensión es variable según la edad y la parte de la planta donde se desarrollen; son deciduas en el extremo superior y se desprenden fácilmente desde la base. Las brácteas culmonares permanecen adheridas al nudo por su parte inferior y se desprenden una a una después de 45 días de emerger el renuevo o el rebrote; las brácteas de las ramas protegen las yemas axilares, se desprenden después de 15 días para dar paso a prefoliaciones o a las espigas nodales (Londoño, 2010).

Figura 2

Componentes morfológicos del Guadua



Nota: En la figura 2, se observan los componentes morfológicos del Guadua: a) ramas, b) hoja caulinar, c) renuevos, d) rizomas, e) culmo, f) hojas de follaje; y como ésta se desarrolla a los 30 días, 1 mes y 1 año respectivamente.

Hojas de follaje (f). La lámina es simple, lanceolada con ápice acuminado, bordes finamente aserrados, con pubescencia simple, aislada y no persistente sobre el haz y el envés tiene nervaduras longitudinalmente dispuestas paralelas a la nervadura central. La longitud promedio es de 15-20 cm, y el ancho entre 2-5 cm. En el estado juvenil las hojas no son

completamente lanceoladas y son más grandes, de color verde oscuro lustroso y se toman verde pálido al final de su ciclo de vida. Una vez que la lámina se marchita es persistente, o sea no se cae. Las hojas en las ramas son alternas, una en cada nudo, son persistentes tanto en las ramas superiores e inferiores (Londoño, 2010).

Ramas (a). El patrón de ramificación no varía significativamente dentro de *Guadua*, la disposición de las ramas a través del culmo es alternada (Figura 6). La rama principal se desarrolla desde una yema individual en el nudo o yema nodal el desarrollo de las ramas inferiores siempre varía. Los grupos de nudos cercanos a la base de las ramas contienen yemas inactivas o que pueden producir una o dos ramas secundarias, las ramas más bajas producen espinas, mientras que las superiores podrían tenerlas o no (Londoño, 2010).

2.2.12. Silvicultura del bambú

La silvicultura comprende el conjunto de técnicas de manejo aplicadas a los bosques con fines múltiples, incluyendo el cultivo, manejo y aprovechamiento sostenible con el objetivo de incrementar la productividad, la calidad de los recursos forestales y los beneficios ambientales que estos generan (FAO & INBAR, 2022). Los sistemas silviculturales aplicados al bambú no son fundamentalmente distintos de aquellos utilizados en especies forestales leñosas; ambos se orientan a optimizar el crecimiento, la producción de biomasa y la sostenibilidad del ecosistema.

En la *Guadua angustifolia* los sistemas silviculturales se clasifican principalmente en dos enfoques: manejo de la regeneración natural y establecimiento y manejo de nuevas plantaciones. El manejo de la regeneración natural implica conservar y aprovechar los brotes que emergen espontáneamente, especialmente en áreas con guaduales remanentes, mientras que el establecimiento de nuevas plantaciones requiere prácticas de preparación de sitio, selección de material vegetal y manejo de densidades de plantación para optimizar el

crecimiento (INBAR, 2023; FAO, 2022). Cuando una plantación alcanza su máximo desarrollo productivo y comercial generalmente entre los 5 y 10 años de edad, puede recibir tratamientos silviculturales similares a los aplicados en rodales naturales en regeneración, tales como deshierbe, raleo de renuevos y manejo de densidad (INBAR, 2024).

La regeneración natural del bambú se produce de forma estacional y está impulsada por dos estrategias reproductivas complementarias: la reproducción sexual mediante semillas y la reproducción asexual por activación de yemas ubicadas en los rizomas subterráneos. Cada rizoma puede generar múltiples renuevos en condiciones óptimas de humedad y temperatura, contribuyendo así a la expansión y renovación del gradual sin necesidad de intervención humana intensiva (Zhou et al., 2022; Vorontsova et al., 2023). Estudios recientes indican que la dinámica de renovación vegetativa del bambú puede extenderse por más de una década, y que la producción de nuevos renuevos es mayor durante temporadas húmedas, lo que favorece el mantenimiento y la estabilidad del gradual como fuente continua de biomasa y sumidero de carbono (FAO & UNEP, 2023).

2.2.13. Métodos para la estimación de captura de carbono

2.2.13.1. Método para estimación en la biomasa.

La acumulación de carbono en la biomasa vegetal de los ecosistemas forestales está determinada por variables estructurales y ecológicas como la edad de la vegetación, el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura total, la densidad de individuos y la composición florística del ecosistema (IPCC, 2019; FAO, 2022). Estos factores influyen directamente en la cantidad de biomasa producida y, por ende, en la capacidad de captura y almacenamiento de carbono atmosférico. Para cuantificar las toneladas de carbono (tC) almacenadas en un ecosistema forestal es indispensable la aplicación de metodologías de estimación adecuadas, las cuales deben seleccionarse considerando las características de las

especies presentes, la disponibilidad de información previa, los recursos técnicos y económicos, así como el nivel de precisión requerido para el estudio (FAO & UNEP, 2021). En el caso de investigaciones a nivel de pregrado, se recomienda el uso de métodos indirectos validados, debido a su confiabilidad y menor impacto ambiental.

Existe el método directo y el método indirecto para la estimación del carbono almacenado en la biomasa aérea. El método directo, también conocido como método destructivo, consiste en el corte de los individuos y la medición del peso fresco y seco de sus componentes (culmo o fuste, ramas y hojas), permitiendo la generación de ecuaciones alométricas específicas para cada especie (Picard et al., 2021). Sin embargo, este método presenta limitaciones prácticas, ya que implica altos costos, mayor tiempo de ejecución y alteración del ecosistema. El método indirecto basado en la aplicación de ecuaciones alométricas desarrolladas a partir de estudios destructivos previos, las cuales permiten estimar la biomasa aérea y el carbono almacenado mediante variables de fácil medición en campo, como el DAP, la altura y la densidad de la biomasa vegetal (Chave et al., 2020; Réjou-Méchain et al., 2021). Este enfoque es ampliamente utilizado en estudios de captura de carbono y mitigación del cambio climático, ya que ofrece resultados confiables con menor costo y mínima intervención del ecosistema.

Para el caso de las especies de rápido crecimiento como el bambú (*Guadua angustifolia*), la aplicación de métodos indirectos resulta especialmente pertinente, debido a su dinámica de producción continua de biomasa y a su elevada capacidad de fijación de carbono. El bambú presenta una alta eficiencia fotosintética y un patrón de acumulación de biomasa constante, siendo una especie estratégica para programas de mitigación del cambio climático y manejo sostenible de los recursos forestales (FAO, 2022; INBAR, 2023).

2.2.13.2. Método para la estimación en el suelo.

a) Método de Hidrómetro de Bouyoucos

El método de hidrómetro de Bouyoucos es una de las formas más rápidas para analizar la textura del suelo, se le hace una dispersión química con hexametafosfato de sodio, y una física en una batidora especial. La agitación es una herramienta importante para obtener resultados con el menor grado de error. La matemática empleada aparte de la estadística correspondiente, es la ley de Stokes, donde la velocidad de las partículas que caen por acción de la gravedad determina la cantidad de arena, limo y arcillas, las variables que intervienen es el tamaño de la partícula, el porcentaje de humedad de suelo y el peso utilizado (Ramírez, 2019). Luego de obtener los porcentajes, se utiliza el diagrama textural, el cual es un triángulo equilátero, en el que a cada lado de éste se sitúa cada una de las fracciones. Cada muestra de suelo viene definida por un punto del interior del triángulo. Este punto se obtiene al interceptar los valores de porcentaje de la fracción de partículas. La intersección de dichos puntos se obtiene al trazar una recta desde una fracción textural a la otra fracción en función de los porcentajes (Gisbert, 2008, como se cita en Ramírez, 2019).

b) Método Walkley-Black

La determinación de carbono orgánico se hace por el método Walkley-Black, en cual el suelo se oxida con una solución de dicromato de potasio estandarizada, utilizando el calor producido por la dilución de ácido sulfúrico concentrado, en la solución crómica. La determinación se realiza valorando por retroceder la cantidad de dicromato que no ha sido reducido por la MO, con una solución de sulfato ferroso, utilizando como indicador di-fenilamina, y también se acorta por color, cuantificando el color verde del ácido crómico reducido a $\lambda_{\max} = 585 \text{ nm}$, el cual es proporcional a la MO que reacciona (García y Ballesteros, 2005).

c) Método del cilindro de volumen conocido

A la relación de la masa de suelo seco por unidad de volumen (g/cm^3), conocido como densidad aparente (D_a), el cual es un indicador de la compactación de suelo en donde se determina la pérdida estructural del mismo, además ayuda en la determinación de la resistencia del suelo a la penetración y elongación de las raíces (Henríquez y Cabalceta, 2012, Keller y Hakansson, 2010, como se cita en Salazar et al., 2020 p. 3). Los valores aumentan con la profundidad del suelo por la reducción de la actividad biológica que sí existe en los primeros centímetros del perfil, el incremento de arena en el suelo, la migración de partículas de arcilla hacia horizontes más profundos y cuando aumenta el contenido de la fracción mineral (Alvarado y Forsythe, 2005, como se cita en Rojas et al., 2022, pp.184-205).

Para el cálculo de la densidad aparente del suelo, se realiza mediante el método del cilindro de volumen conocido el cual consiste en un cilindro metálico de dimensiones definidas que se introducen en el suelo ejerciendo presión y luego se retira cortando los excedentes por encima y por debajo del cilindro. Luego se hace el secado a una temperatura de $105\text{ }^\circ\text{C}$ hasta un peso constante; se pesa el suelo seco para luego calcular la densidad aparente (g/cm^3) utilizando la relación peso seco (g) sobre el volumen del cilindro (cm^3) (Agostini et al., 2014, como se cita en Villalobos y Meza, 2019, pp. 147-155).

2.3. Definición de términos

2.3.1. Biomasa vegetal

La biomasa vegetal es la cantidad total de materia orgánica viva de las plantas, tanto aérea como subterránea, presente en un área determinada y expresada generalmente en términos de masa seca o carbono por unidad de superficie. Representa el resultado de la fotosíntesis y constituye un indicador clave de la productividad del ecosistema y su capacidad

de almacenamiento de carbono, siendo fundamental para estudios de cambio climático y manejo sostenible de los recursos forestales (FAO, 2022; IPCC, 2019).

2.3.2. Bonos de Carbono

Los bonos de carbono son instrumentos de mercado utilizados para reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y otros gases de efecto invernadero (GEI), mediante la asignación de unidades que representan una tonelada de CO₂ equivalente evitada, reducida o capturada. Estos mecanismos permiten que entidades que disminuyen o compensan sus emisiones comercialicen dichos créditos, incentivando proyectos sostenibles como la reforestación, la conservación de ecosistemas y el secuestro de carbono. Actualmente, los bonos de carbono se implementan tanto en mercados regulados como voluntarios, contribuyendo a la mitigación del cambio climático y al desarrollo sostenible, especialmente en países en desarrollo (IPCC, 2022; World Bank, 2023).

2.3.3. Ciclo del carbono

El ciclo del carbono es un ciclo biogeoquímico mediante el cual el carbono circula e intercambia continuamente entre la atmósfera, la hidrosfera (océanos, aguas continentales y carbono disuelto), la biosfera terrestre (biomasa vegetal, animal y suelos) y la litosfera (sedimentos y combustibles fósiles). Este ciclo regula la concentración de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera y desempeña un papel fundamental en la regulación del clima y el funcionamiento de los ecosistemas, siendo altamente influenciado por las actividades humanas (IPCC, 2021; NASA, 2022).

2.3.4. Dióxido de carbono

El dióxido de carbono (CO₂) es un gas de efecto invernadero presente de forma natural en la atmósfera; sin embargo, las actividades humanas, principalmente la quema de

combustibles fósiles, la deforestación y los cambios en el uso del suelo, han incrementado significativamente su concentración atmosférica, constituyéndose en el principal factor del calentamiento global y el cambio climático actual (IPCC, 2021).

2.3.5. Mercado de carbono

El mercado de carbono es un mecanismo económico mediante el cual se compran y venden créditos o bonos de carbono, que representan reducciones verificadas de gases de efecto invernadero (GEI). Su objetivo es incentivar la mitigación del cambio climático, permitiendo que países, empresas u organizaciones compensen parte de sus emisiones, ya sea en mercados regulados o mercados voluntarios, contribuyendo al cumplimiento de compromisos climáticos internacionales establecidos en el marco del Acuerdo de París (Banco Mundial, 2022; IPCC, 2022).

2.3.6. Plantaciones forestales

Las plantaciones forestales son ecosistemas forestales establecidos mediante la intervención humana, a través de la siembra o instalación planificada de una o más especies forestales, nativas o exóticas, manejadas bajo criterios técnicos y silviculturales. Estas plantaciones tienen como finalidad la producción de madera y productos forestales no maderables, la protección de suelos y recursos hídricos, la restauración de áreas degradadas, así como la provisión de servicios ecosistémicos, entre los que destaca la captura y almacenamiento de carbono, contribuyendo a la mitigación del cambio climático y al desarrollo sostenible (FAO, 2022; SERFOR, 2021).

2.3.7. Secuestro de carbono

El secuestro de carbono es un servicio ambiental que se sustenta en la capacidad de los ecosistemas forestales para absorber y almacenar carbono atmosférico en forma de

biomasa vegetal y carbono del suelo. Este servicio puede potenciarse mediante un manejo forestal sostenible, el cual evita que los bosques y plantaciones se conviertan en fuentes emisoras de gases de efecto invernadero, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático (FAO, 2021; IPCC, 2022).

2.3.8. *Servicios ambientales*

Los servicios ambientales son los beneficios directos e indirectos que los ecosistemas brindan a la sociedad, derivados de sus funciones ecológicas y biológicas, los cuales contribuyen al bienestar humano, al sostenimiento de la vida y al equilibrio ambiental, incluyendo servicios de provisión, regulación, soporte y culturales (FAO, 2020; IPBES, 2022).

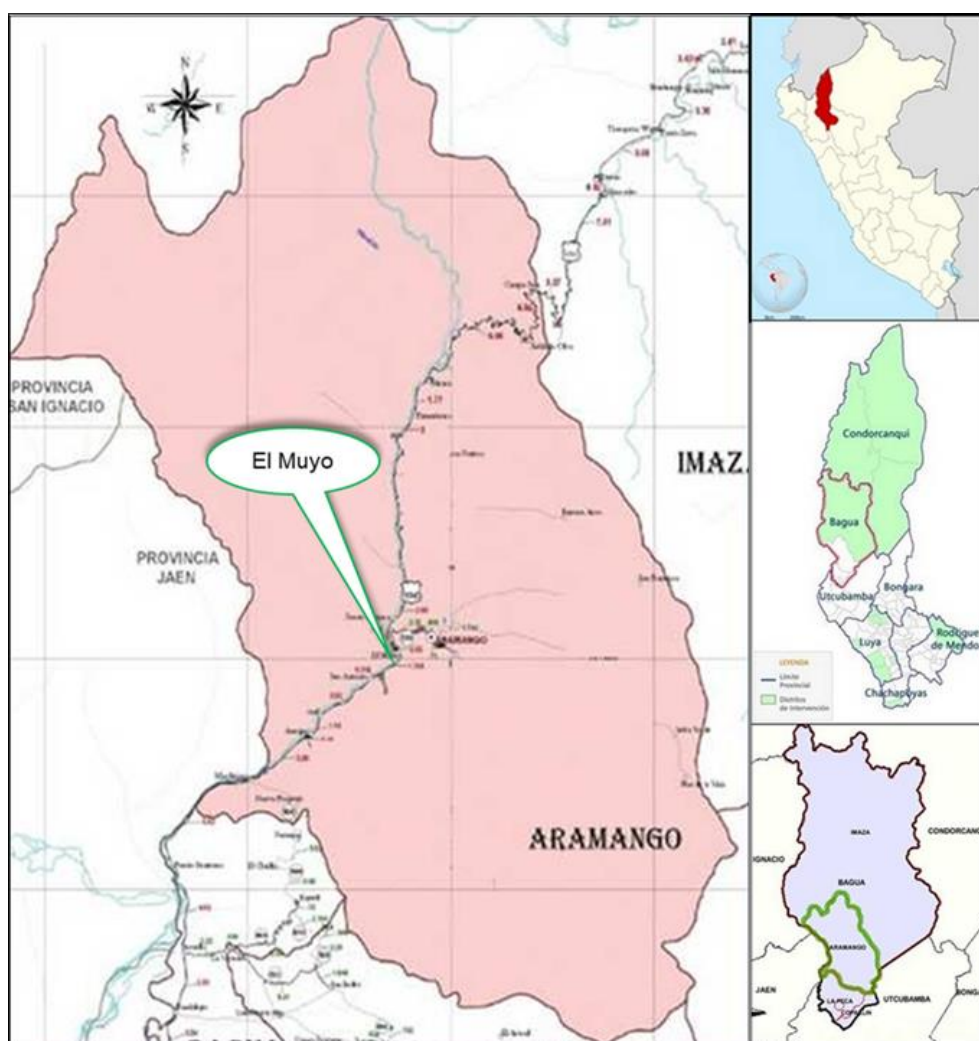
III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación

La investigación se realizó en la finca “La Maracuyá I, II y III” (Figura 3), en una plantación de 17,54 ha de bambú; situada a una altitud promedio de 350 m. s. n. m.; entre las coordenadas UTM: 782623 E y 9405612 N, en la ruta Bagua - Santa María de Nieva (km 52), en el caserío El Muyo, distrito Aramango, provincia Bagua, departamento Amazonas (Anexo 3).

Figura 3

Mapa de ubicación del área de estudio



3.2. Descripción de la plantación

La plantación de bambú de la referida parcela cuenta con las mejores condiciones edafoclimáticas propias de los bambusales, incluyendo el buen manejo silvicultural, maximizando de esta manera la productividad durante el aprovechamiento o entresaca selectiva y por tanto generando una alta rentabilidad económica al productor. De acuerdo a la entrevista hecha al propietario de la plantación, ésta fue establecida en el año 2004, hasta la fecha de evaluación la plantación tuvo una edad de 14 años, instalada a una densidad de 400 plantas /ha, bajo un sistema cuadrado a un distanciamiento de 5x5 m.

En la parcela del propietario se han inventariado para cosecha unos 1800 culmos de bambú estructural por hectárea, en su mayoría de primera calidad, dándole un ingreso total de 20 000 nuevos soles por hectárea, ingreso que complementan al negocio de otros cultivos como el plátano y crianza de animales menores. La especie de bambú que cultiva es *Guadua angustifolia* Kunth, de acuerdo a los estudios de identificación realizadas por PERUBAMBU en el distrito de Aramango en el año 2010.

3.3. Materiales

3.3.1. Material biológico

Constituido por las partes morfológicas de la planta, como: rizomas, culmos, ramas, hojas caulinares y hojas de follaje, muestras de suelo, las cuales fueron pesadas en campo y posteriormente se tomaron secciones (muestras) de cada parte para ser llevadas al laboratorio.

3.3.2. Materiales y equipos de campo

GPS, Brújula, cámara fotográfica, balanza romana, palanas, barretas, machetes, tijeras de podar, wincha de 50 m, cilindros de metal (probetas), marcador permanente, etiquetas

plásticas, papel periódico, cinta masking type 3/4”, bolsas de polietileno de 50 kg, bolsas de papel tamaño oficio, rafia, bolsas plásticas x 48 kg, libreta de apuntes, lápices, calculadora.

3.3.3. *Materiales y equipos de laboratorio*

Balanza digital de mesa, estufa, horno secador, cocina eléctrica, medidor de pH.

3.4. Metodología

Para el desarrollo de la presente investigación, los datos de campo se tomaron durante el periodo de los años 2018 y 2019; la metodología se basa en calcular la biomasa (Riaño et al, 2002), mediante diferencia de pesos (peso húmedo y peso seco); para ello, se utilizó el método destructivo que consiste en cortar y extraer los ejemplares de bambú seleccionados para determinar la biomasa húmeda (aérea y subterránea), midiendo el diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total del culmo (ATC), para posteriormente calcular el C almacenado, mediante la determinación del peso total de cada uno de sus componentes morfológicos.

Para determinar el C en el suelo se extrajeron muestras de las parcelas evaluadas a una profundidad de 30 cm, luego se llevaron a laboratorio donde fueron procesadas mediante el método del Hidrómetro de Bouyoucos para establecer la clase textural; y para el cálculo del porcentaje de carbono en el suelo, se usó el método de WALKLEY y BLACK, así como el método del cilindro de volumen conocido para calcular la densidad aparente del suelo, cuantificando de esta manera, la cantidad de C secuestrado y almacenado.

3.4.1. *Diseño de las subparcelas de evaluación*

La determinación de la biomasa acumulada de *Guadua angustifolia* Kunth, se realizó en una parcela de una ha (Figura 4) en la plantación de bambú de 14 años (instalada en el año

2004, información del propietario); siendo una plantación homogénea en crecimiento y regeneración de nuevas plantas. La parcela se dividió en 25 subparcelas de 20x20 m (400 m²), se hizo la georreferenciación con el GPS; se seleccionaron 5 subparcelas Figura 4).

Figura 4

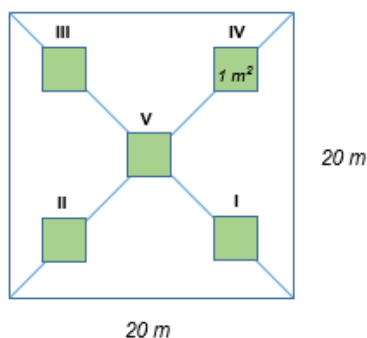
Diseño de la parcela de evaluación

G25	G24	G23	G22	G21
G20	G19	G18	G17	G16
G15	G14	G13	G12	G11
G6	G7	G8	G9	G10
G5	G4	G3	G2	G1

La Figura 5 muestra el diseño de la subparcela de 400 m² (donde se realizó el inventario del número de tallos o culmos/cepa), y a su vez la distribución de 5 sub cuadrantes de 1 m², para el muestreo de la biomasa aérea (culmos, ramas, hojas caulinares, hojas de follaje) y biomasa subterránea (rizomas).

Figura 5

Diseño de las subparcelas de muestreo de la biomasa



3.4.2. *Obtención de muestras de suelo*

Se colectaron muestras de suelo en las cinco subparcelas de 400 m², para lo cual se excavó hoyos a 30 cm de profundidad y se extrajo el sustrato. Una vez extraídas las muestras se mezcló con la finalidad de homogenizar el material, tomándose un kg para proceder a secarlo bajo sombra. Posteriormente se tamizó y se llevó a laboratorio (Anexo 1) OIKOSLAB S.A.C, utilizando un aproximado de 100 g para el análisis respectivo.

3.4.3. *Datos del diámetro y altura de los culmos*

En las 5 subparcelas de 400 m² se inventarió el número de culmos, diámetro y longitud mayor/cepa. Donde las longitudes variaron de 13,30 a 22,30 m, los diámetros de 9,17 a 14,6 cm, y el número de culmos por subparcela variaron de 43 a 126 individuos.

3.4.4. *Pesado de los componentes morfológicos de la planta*

Para determinar la biomasa total de los individuos encontrados en cada uno de los subcuadrantes de 1 m², se extrajo la planta en su totalidad por el método destructivo, y se pesaron todos sus componentes morfológicos (culmos, ramas, hojas caulinares, hojas de follaje y rizomas) por separado; para ello previstos de un machete, se procedió al tumbado de los individuos seleccionados (Figura 6), para luego realizar el pesado total de la planta dividido en sus componentes (Figura 7). Para el seccionamiento de los rizomas (Figura 8), se extrajeron cavando el suelo con el uso de palanas y barretas.

Figura 6

Corte y pesado de culmos



Figura 7

Extracción y selección de rizomas de bambú



3.4.5. *Pesado y etiquetado de las muestras en campo*

Se pesaron las muestras de los componentes en campo, se etiquetaron (Figura 8) y llevaron a laboratorio (Anexos 1 y 2), se estimó el peso seco de las muestras.

Figura 8

Pesado y etiquetado de las muestras



3.4.6. *Determinación de la biomasa seca*

Se determinó el peso seco de las muestras de biomasa (aérea, subterránea) y suelo; posterior a ello, se procedió a realizar el cálculo del C total retenido tanto en la biomasa como en el suelo de la plantación.

Para determinar la biomasa seca se cuantificó la biomasa fresca que se obtuvo en campo y por separado de acuerdo a los diferentes componentes morfológicos de la planta, posteriormente se tomó una muestra de cada componente y se llevó a laboratorio para el secado de las mismas y se estimó el peso seco de cada componente, y mediante la Fórmula (1) se obtuvo la relación peso seco-peso húmedo de la biomasa acumulada (Díaz, 2019).

Fórmula 1:

$$BSc = \frac{PS}{PH} \times BHc$$

Donde:

BSc = Biomasa seca del componente (kg)

PS = Peso seco de la muestra (g)

PH = Peso húmedo de la muestra (g)

BHc = Biomasa húmeda del componente (kg)

Para determinar el peso seco total, se suma la biomasa de cada uno de sus componentes.

Fórmula 2:

$$BS \text{ total} = BS \text{ culmo} + BS \text{ ramas} + BS \text{ hojas} + BS \text{ rizomas}$$

3.4.7. *Cálculo del carbono total en la biomasa*

Para el cálculo del C total en la biomasa aérea y subterránea (Fórmula 3), se multiplica la biomasa seca por el factor de conversión (0,5) promedio de carbono (Díaz, 2019). El factor de conversión 0,5 es usado cuando no se conocen las fracciones de C específicos para la especie en estudio. Se ha determinado este factor de conversión general, debido a que en promedio la materia vegetal o biomasa contiene un 50 % de C después de removida el agua (Mac Dicken, 1997).

Fórmula 3:

$$CB (t/ha) = BST \times 0,5$$

Dónde:

CB = Carbono en la biomasa.

BST= Biomasa seca total.

0,5 = Factor de conversión

3.4.8. *Cálculo del contenido total de carbono en el suelo*

Se calculó la cantidad de C acumulado en el suelo en t ha⁻¹ (Fórmula 4), haciendo previamente los cálculos en base a las Fórmulas 5, 6, y 7. El desarrollo de la fórmula para determinar C en el suelo, se muestra en el Anexo 4.

Fórmula 4:

$$CS = CC \times DA \times P$$

Donde:

CS = Carbono presente en el suelo (tCha⁻¹)

CC = Contenido de carbono (%)

DA = Densidad aparente (g/cm³)

P = Profundidad de muestreo (cm)

3.4.9. Cálculo de la densidad aparente del suelo

Para el cálculo de la densidad aparente del suelo, ésta se realizó mediante el método del cilindro de volumen conocido descrito por MacDicken (1997), para ello se utilizaron 3 cilindros de dimensiones definidas por cada subparcela y se introdujeron a una profundidad de 30 cm del nivel del suelo (Figura 9); luego en laboratorio, utilizando una estufa se procedió al secado a 105 °C hasta obtener el peso seco constante, seguido se utilizó la Fórmula (5), para conocer la densidad aparente.

Figura 9

Preparación de calicata y muestreo de suelo



Fórmula 5:

$$DA \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \frac{P_{ss} - P_{cv}}{V_c}$$

P_{ss} = Peso seco del suelo (g)

P_{cv} = Peso cilindro vacío (g)

V_c = Volumen cilindro (cm³)

3.4.10. Contenido de carbono orgánico en el suelo (%)

Se expresa en porcentaje y se obtiene en base al contenido de M.O (Fórmula 6).

Fórmula 6:

$$\% C = \frac{\% MO}{1.724}$$

3.4.11. Cálculo del porcentaje de materia orgánica

Mediante el método Walkley – Black se procedió a realizar la valorización de la M.O (Figura 10) para posteriormente emplear la Fórmula 7:

Figura 10

Valorización de la materia orgánica



Fórmula 7:

$$\% MO = \frac{(4(a - b))}{(a \times p)} \times 1.724$$

Donde:

a = Volumen gastado del blanco* (ml)

b = Volumen gastado de la muestra (ml)

p = Peso de la muestra (g)

* Blanco = solución ferrosa ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 1N, sin muestra para conocer la normalidad de la solución.

El valor 1,724 utilizado, es un factor de corrección comercial Van Bemmelen, e indica que, en 100 g de MO, hay 58 g de CO (Yarce & Castillo, 2014).

3.4.12. Medición del pH

Con el uso de una balanza electrónica se pesó 10 g de suelo; en una probeta se midió 25 ml de agua destilada y se vertió a un tubo de ensayo junto con el suelo haciendo una mezcla homogénea. Luego con un medidor de pH, se hizo la toma de la lectura definitiva de la solución, obteniendo un pH de 7,56, considerado un pH ligeramente alcalino (Figura 11).

Figura 11

Preparación de muestra y medición del pH



3.4.13. Obtención de la clase textural del suelo

Mediante el método de Hidrómetro de Bouyoucos, se empleó 50 g de suelo tamizado y secado; se agregó un agente dispersante Hexametáfosfato 1 N (37 g Hexametáfosfato de Sodio, 7,94 g Na_2CO_3 , 30 ml de agua destilada). Se usó 10 ml del agente dispersante y se completó a 1 L en un vaso, y en una batidora se homogenizó la muestra. Después de unos minutos la mezcla se vertió en una probeta de un litro hasta llenarlo. Luego, se introdujo el

hidrómetro en la probeta para tomar datos de temperatura en grados Fahrenheit (°F) (Figura 12), se tomaron lecturas a los 30”, 1’, 5’, 30’, y 60’ respectivamente, luego se procesó la primera y la última lectura; obteniendo una clase textural “Arena franca”.

Figura 12

Homogenización y medición de la temperatura (°F)



3.4.14. Presentación de la información

La información obtenida a través de la toma de datos, procesamiento, análisis de datos redacción de la información se presenta siguiendo las normas y formato de informe tesis de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca. Los resultados se presentan en tablas y figuras, las cuales facilitaron el análisis e interpretación en una hoja de cálculo (Microsoft Excel). Los resultados fueron discutidos y redactados en un procesador de textos (Microsoft Word). Asimismo, para la redacción del informe se tuvo en cuenta la Norma APA 7ma Edición.

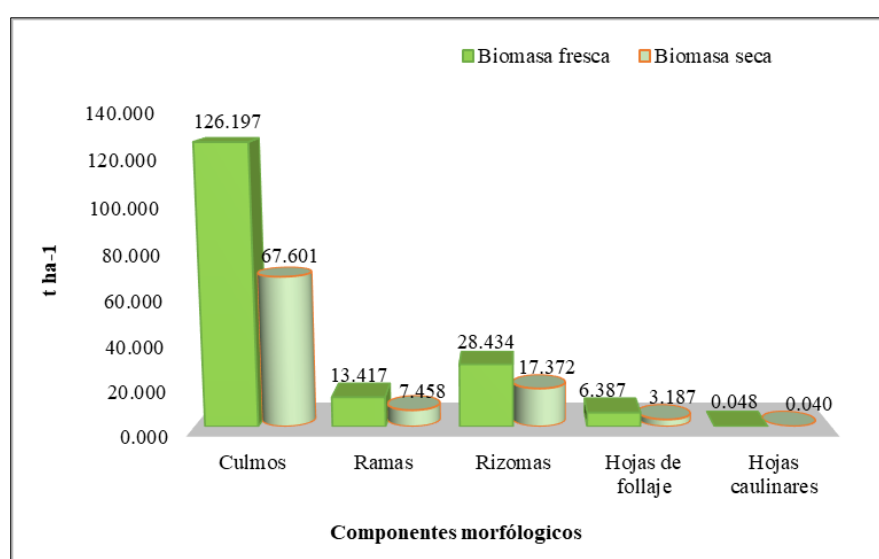
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Estimación del carbono en la biomasa en *Guadua angustifolia* Kunth

4.1.1. Estimación de la biomasa fresca y seca

Figura 13

Cantidad de biomasa ($t\ ha^{-1}$)



Al realizar la sumatoria de la biomasa seca de todos los componentes morfológicos de la planta (Figura 13, Tabla 3); se observa que los culmos presentan mayor cantidad de biomasa seca con $67,601\ t\ ha^{-1}$ (70,669 %), seguido de los rizomas con $17,372\ t\ ha^{-1}$ (18,161 %), ramas $7,458\ t\ ha^{-1}$ (7,797 %), hojas de follaje con $3,187\ t\ ha^{-1}$ (3,332 %) y hojas caulinares con $0,040\ t\ ha^{-1}$ (0,042 %) en menores cantidades; teniendo un total de biomasa de $95,568\ t\ ha^{-1}$, correspondiendo el 81,839 % a la parte aérea y el 18,161 % a la parte subterránea.

Tabla 3

Biomasa seca según componente y su respectivo reservorio y porcentaje

Componente	Biomasa seca (t ha ⁻¹)	%	Reservorio	% Total
Rizomas	17,372	18,161	Biomasa subterránea	18,161
Culmos	67,601	70,669		
Ramas	7,458	7,797		
Hojas de follaje	3,187	3,332	Biomasa aérea	81,839
Hojas caulinares	0,040	0,042		
Total	95,658	100	-	100

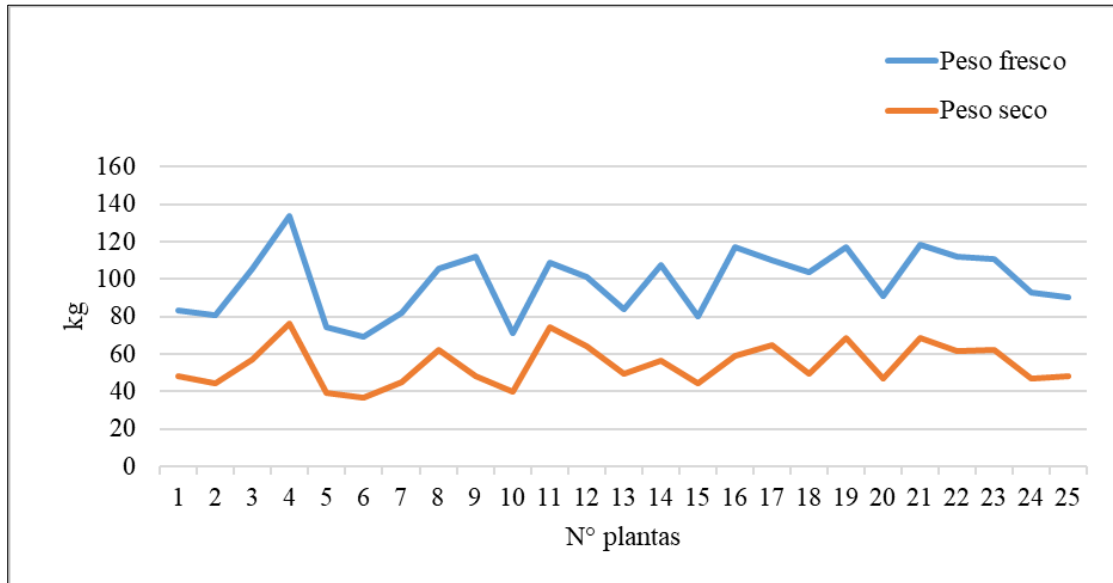
Estudios de cuantificación de biomasa en plantaciones de *Guadua angustifolia* y *Bambusa vulgaris* realizadas por Marín et al. (2011) en Venezuela determinó que para la *Guadua*, el 81,7 % de la biomasa aérea de bambúes se asignó a tallos, 14,2 % a ramas y 4,1 % a hojas. Mognon et al. (2014), encontraron resultados similares al estudiar *Guadua chacoensis*, cuyo porcentaje de biomasa total fue del 69,2 % en el tallo, 10,8 % en ramas, 4,2 % en follaje y 15,7 % en rizomas que probablemente explica diferencias en el porcentaje de cada compartimento para la *Guadua chacoensis*, a pesar de ser otra especie, muy similar a *Guadua angustifolia*. Existe una gran variabilidad en la producción de biomasa, dependiendo de la especie, la edad y la ubicación geográfica; algunos estudios indican que en un año la producción de biomasa aérea puede variar desde 7,4 hasta 158,8 t ha⁻¹ (Taylor & Zisheng, 1987, como se cita en Ceccon y Gómez, 2019).

Por otro lado, Arango y Camargo (2010) mencionan que, la biomasa aérea contiene aproximadamente un 74,6% de la biomasa total de la *Guadua*, producido por los cambios en

la distribución de la biomasa, los cuales dependen de la disponibilidad de luz y de la edad de las especies.

Figura 14

Relación biomasa fresca y biomasa seca por planta (kg)



La relación del peso fresco y seco calculada por planta (Figura 14), indica que la plantación es relativamente homogénea en crecimiento y producción de nuevos renuevos, luego del sexto año de establecida la plantación, tiempo que empezó su aprovechamiento por la madurez fisiológica que presenta la especie a esa edad. La distribución de la biomasa puede variar de acuerdo al nivel de perturbación del ecosistema y el porcentaje de densidad de los culmos, aunque Cruz (2009) determinó que, la biomasa varía con las condiciones de regeneración del guadual.

4.1.2. Estimación del carbono en la biomasa seca

Luego de determinar la acumulación de la biomasa seca en cada uno de los componentes morfológicos, se procedió a calcular la cantidad de carbono. La Tabla 4 y la

Figura 15, muestran la acumulación del carbono en la biomasa; siendo la mayor cantidad almacenado en los culmos con 33,801 tC ha⁻¹; seguido de los rizomas con 8,686 tCha⁻¹; en las ramas con 3,729 tCha⁻¹; las hojas de follaje con 1.594 tCha⁻¹; por último, la acumulación en las hojas caulinares con 0,020 tC ha⁻¹; sumando un total de C sólo en la biomasa de 47,829 tCha⁻¹. Cruz (s.f.) reporta que, los reservorios de carbono en la biomasa subterránea representa aproximadamente de 4 % a 23 %, la biomasa aérea de 60 % a 90 %; es decir, los datos obtenidos en la presente investigación, están dentro de estos rangos, correspondiente a una densidad promedio de 1800 plantas por hectárea, considerándose como normal, pues los guaduales pueden variar sus contenidos de biomasa de acuerdo a la perturbación y densidad de culmos y por consiguiente de rizomas y raíces presentes en el suelo.

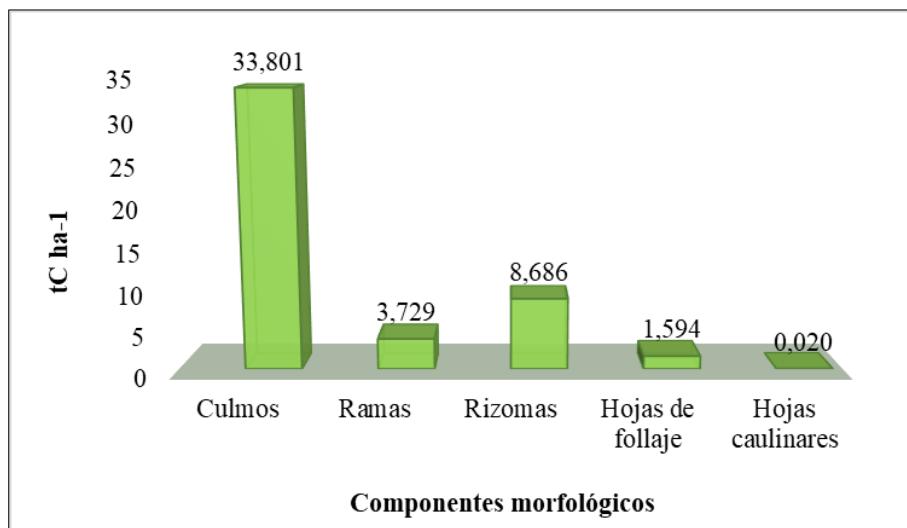
Tabla 4

Carbono acumulado en t ha⁻¹

Componente	Biomasa seca (t ha⁻¹)	Carbono (tCha⁻¹)
Culmos	67,601	33,801
Ramas	7,458	3,729
Rizomas	17,372	8,686
Hojas de follaje	3,187	1,594
Hojas caulinares	0,040	0,020
Total	95,658	47,829

Figura 15

Representación del contenido de carbono en los componentes



Los resultados obtenidos de C están mínimamente por debajo a los establecidos por Riaño et al. (2002), quienes realizaron el procesamiento de datos en *Guadua angustifolia*, durante un periodo de crecimiento de 6 años; determinando que 1 ha de plantación de *Guadua angustifolia* acumula en biomasa un total de 108,67 t de materia seca y fija 54,3 tC, de los cuales el 73 % está presente en el culmo, 20 % en el rizoma, 4 % en las ramas, 2,6 % en el follaje y 0,4 % en las hojas caulinares. Cabe señalar que, el estudio realizado por Riaño et al, no evaluó el C almacenado en el suelo, sólo el C en la biomasa (aérea y subterránea), por lo que, los porcentajes de C obtenidos en la presente investigación (Tabla 4, Figura 15), los culmos representaron el 70,669 %, seguido de los rizomas con 18,161 %, las ramas con 7,797 %, hojas de follaje con 3,332 % y hojas caulinares con 0,042 %, fijando así un total de 47,829 tCha⁻¹ evaluados en la plantación de 14 años de edad, actualmente manejada y aprovechada desde los seis años; lo que nos permite afirmar que la cantidad de C acumulado es similar desde los seis años de la plantación de bambú, debido a que alcanzan su madurez fisiológica a esa edad; además, los valores en densidad, diámetro y altura de la plantación son

relativamente homogéneos debido a sus características similares en crecimiento y desarrollo (Danac, 2003). Así lo reportan Lin et al. (2011), Xu et al. (2016), como se cita en Pan et al., (2023) donde la edad de los bambúes importa, dando como resultado niveles variables de almacenamiento de C, donde en los primeros años la planta realiza un crecimiento de biomasa aérea (1 - 4 años), pero esta se desacelera a medida que las plantas envejecen, y el incremento anual de biomasa aérea disminuye (p. 12). Esto debido a que la función fotosintética del bambú se debilita a medida que envejece; asimismo Kumar et al. (2022) realizaron un estudio donde exploraron el cambio de la biomasa subterránea del bambú con el crecimiento del culmo, donde documentaron que el C en la parte subterránea aumentó con el envejecimiento del culmo a través del aumento de la biomasa subterránea (p. 12).

Además, los bambúes pueden incrementar significativamente su productividad primaria neta o biomasa en respuesta a una atmósfera enriquecida de CO₂, sin embargo, esto sucede principalmente en los primeros años de las plantaciones, cuando resultan más eficientes comparadas con otros tipos de bosques (Lobovikov et al., 2012; como se cita en Ceccon y Gómez, 2019). De la misma manera Fu et al. (2018), Cao et al. (2019), como se cita en Pan et al. (2023), refieren que el bambú es una especie de rápido crecimiento con un alto crecimiento anual después de la cosecha. Esta naturaleza única del bambú explica su fuerte capacidad de acumulación de biomasa: el CO₂ en la atmósfera se transforma en biomasa a través de la fotosíntesis, lo que aumenta la capacidad de sumidero de C, especialmente para el bambú durante el período de crecimiento inicial (p. 5).

Un brote de bambú desde que emerge hasta los años siguientes, la caña de bambú continúa secuestrando C durante hasta siete años y, después de la cosecha, la biomasa subterránea correspondiente puede sobrevivir y seguir contribuyendo al sumidero de C (Lobovikov et al., 2012, como se cita en Pan et al., 2023, p. 5).

En este sentido, de acuerdo a INBAR (2022) esta planta de rápido crecimiento, no requiere volver a sembrarse y recupera su follaje rápidamente, por lo que genera un suministro continuo de biomasa y por ende mayor secuestro de C, lo que aminora las presiones antropogénicas sobre los bosques, asimismo Fonseca y Rojas (2016), como se cita en Henquín y Gutiérrez (2022) mencionan que el bambú es un recurso que almacena C a gran escala, por lo que las plantaciones de bambú bien manejadas tienen la capacidad de capturar el C a una tasa mayor que ciertas especies arbóreas; así refieren Pan et al. (2023) que, el bambú puede ser un recurso único de almacenamiento de C que supera a muchos otros cultivos leñosos, siempre que la recolección selectiva anual no dañe el secuestro total de C y el ecosistema.

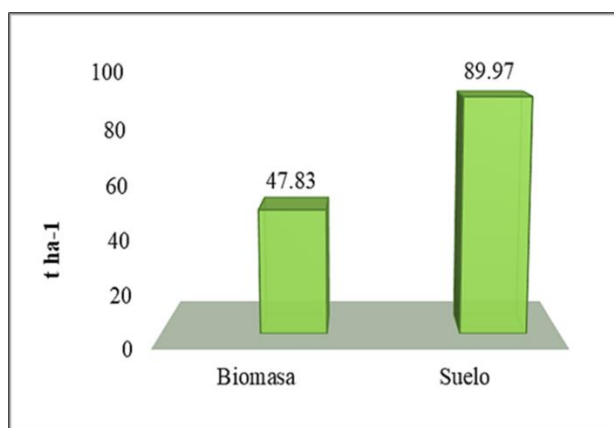
Ceccon y Gómez (2019) describen que un aspecto fundamental, para mantener un eficiente secuestro de C, es hacer un manejo intensivo, en lugar de extensivo de las plantaciones de bambúes para obtener mayor productividad, considerando la capacidad para producir una cosecha anual sin afectar la capacidad de rebrotar de los bambúes. Esto ayuda a mantener su alta productividad primaria y, en consecuencia, un alto consumo de CO₂ (Song et al., 2018), y por ende mayor biomasa y captura de C ya que cuando las plantaciones llegan a la madurez y no hay un manejo, no secuestra C adicional (Kuehl, 2015). De igual manera Li et al. (2017), Kuehl et al. (2012), como se cita en Pan et al. (2023), refieren que la recolección selectiva anual es un método eficaz y único para almacenar C adicional (productos de bambú cosechados), siendo que la recolección selectiva puede contribuir a un mayor nivel de secuestro de C. Además, el C almacenado en el bambú cosechado puede transferirse a productos de bambú cosechados duraderos (HBP), lo que implica que los productos con una vida útil más larga pueden almacenar el C durante más tiempo (p. 11).

Los bambúes pueden no ser mejores que los árboles en el secuestro de C, debido a que el culmo individual tiene una vida útil limitada de siete a diez años; tiempo después su biomasa y el C contenido en ella se deterioraran, liberando de nuevo el CO₂ a la atmósfera, sin embargo, el potencial para almacenar C puede maximizarse si la biomasa cosechada es convertida en productos durables, que pueden tener una vida útil hasta de 20 años, evitando que se libere el C almacenado; asimismo, cortado el culmo, el C perdura en su componente rizomático (Liese, 2009, Kuehl, 2015; como se cita en Ceccon y Gómez, 2019). Numerosos estudios en la literatura han demostrado que las maderas de bambú también pueden convertirse en una amplia gama de productos duraderos y almacenar una cantidad considerable de C, lo que las convierte en un sustituto sostenible de la madera y despresurizan significativamente otros recursos madereros; por lo que el bambú sólo necesita un ciclo de recolección corto para mantenerlo saludable, productivo y sostenible (Nath et al., 2015, Gu et al., 2019, como se citan en Pan et al., 2023, p. 13).

Asimismo, Rujeles (2022) indica que la biomasa convertida en productos como muebles, tableros, entre otros, secuestran por muchos años el CO₂, y así se logra mitigar el calentamiento global que actualmente se atraviesa. Considerando los aspectos anteriores, la *Guadua angustifolia* Kunth es una especie vegetal de rápido crecimiento convirtiéndose en un gran sumidero de C (p. 14). Estudios destacan que las especies de bambú actúan como sumideros de carbono en lugar de fuentes de carbono, es decir, los bambúes sirven como sumidero durante la mayor parte del año en los periodos diurnos, siendo la actividad de cosecha relativamente corta (3-5 años), en comparación con la mayoría de especies maderables que son fuentes de carbono durante el periodo de no crecimiento, con un periodo de cosecha extensa (10-50 años) (Das et al., 2019, como se cita en Pan et al., 2023).

Tabla 5*Potencial de captura de carbono en bambú, incluido el suelo*

Componente	Carbono fijado (tCha ⁻¹)	Reservorio	% Total
Suelo	89,974	Suelo	65,292
Rizomas	8,686	Biomasa subterránea	6,303
Culmos	33,801		24,528
Ramas	3,729		2,706
Hojas de follaje	1,594	Biomasa aérea	1,156
Hojas caulinares	0,020		0,015
Total	137,803	-	100

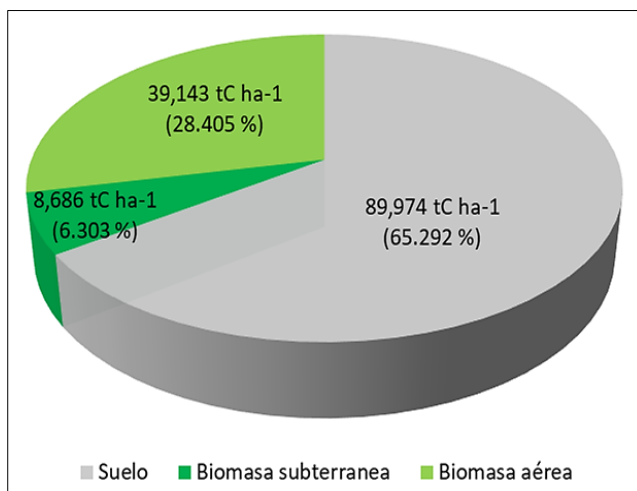
Figura 16*Carbono almacenado en la biomasa (aérea y subterránea) y el suelo, en t ha⁻¹*

La Tabla 5 y Figura 16, muestran el potencial de captura y fijación de C y los porcentajes acumulados en la *Guadua angustifolia* Kunth. Se observa que la parte aérea y subterránea de la planta fija un total de 47,83 tC ha⁻¹, mientras que el suelo 89,97 tCha⁻¹, haciendo un total de 137,80 tCha⁻¹. El suelo de la plantación realiza el mayor porcentaje de

almacenamiento de C con un 65,29 % (89,97 tCha⁻¹); seguido de los culmos con 24,52 % (33,80 tCha⁻¹); los rizomas con 6,303 % (8,68 tCha⁻¹), ramas con 2,70 % (3,72 tCha⁻¹), hojas de follaje con 1,15 % (1,59 tCha⁻¹) y hojas caulinares con 0,01 % (0,02 tCha⁻¹). Haciendo la comparación, Fonseca y Rojas (2016) estimaron la biomasa acumulada y el C acumulado en plantaciones de bambú en Costa Rica, y en el suelo en rodales artificiales de *Dendrocalamus latiflorus*, *Guadua angustifolia* y *Guadua aculeata* y desarrollaron modelos matemáticos para estimar la biomasa y el C. La biomasa se estimó por el método destructivo que consiste en la cosecha del material para obtener el peso húmedo. La fracción de C promedio osciló de 43.3 a 47,2 % entre los diferentes componentes (hojas, ramas, raíz y tronco) en un mismo culmo y de 36,4 a 46,7 % en la vegetación herbácea. El porcentaje de C en el suelo fue de 2,45 %, el C almacenado (incluido el suelo) por hectárea en plantaciones de *Guadua angustifolia* y *Guadua aculeata* fue de 117,74 Mg ha⁻¹ (71 Mg ha⁻¹ en el suelo y 46,74 Mgha⁻¹ en la biomasa). De acuerdo al inventario realizado, en el presente estudio se encontraron un aproximado de 1800 p ha⁻¹; siendo esta densidad la que fija 137,80 tCha⁻¹, incluido el suelo.

Figura 17

Reservorio de carbono y sus porcentajes



De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente estudio (Tabla 5, Figura 17), Núñez y Ramírez (2022) estimaron el potencial de captura de C en plantaciones de *Guadua angustifolia* en el distrito Río Negro, provincia Satipo, reportando que el potencial de captura de C en la biomasa aérea fue de 36,977 tCha⁻¹, y 33,697 tCha⁻¹ en el suelo; asimismo Ramírez et al. (2018) realizaron la cuantificación de la biomasa aérea para el bambú en la cuenca del río Guarapas, municipio de Pitalito Huila en Colombia, como aporte a la cuantificación de captura orgánico en guaduales, dando un resultado final de 82,47 t ha⁻¹ de aporte promedio de biomasa seca en la especie, con lo que se pudo estimar una acumulación de C de 41,24 tCha⁻¹ en la parte aérea; de igual manera Fonseca y Rojas (2016) reportan que el C promedio almacenado en la biomasa vegetal más el del suelo para *Guadua angustifolia* y *Guadua aculeata*, fue de 117,74 Mg ha⁻¹. El suelo representó el 59,9 % del C total, el 32,8 % entre los diferentes componentes (hojas, ramas, raíz y tronco) en un mismo culmo; asimismo Ramírez et al. (2018), reportan un valor de 82 t ha⁻¹. En una plantación de siete años de bambú en Colombia, se estimó un almacén aéreo de C de 76 t ha⁻¹ (Camargo, Rodríguez, & Arango, 2010; como se cita en Ceccon y Gómez, 2019); Díaz (2015) reporta una captura total de 55,3 tC ha⁻¹, obteniéndose un porcentaje de 62 % en el suelo y 38 % en la parte aérea.

Las variaciones de los resultados obtenidos en la presente investigación con los resultados que se hace referencia, son pocas, y esto debido a influencias climatológicas y renovabilidad de la especie, así lo manifiestan Arango y Camargo (2010) quienes mencionan que, los cambios en la distribución de la biomasa dependen de la disponibilidad de luz y de la edad de las especies y de igual manera menciona Valera (2013), en una investigación sobre la determinación de la influencia de las condiciones climáticas en la captura de C donde establece que uno de los factores climáticos que más influye sobre la captura de C es la precipitación y Giraldo (2008) afirma que, debido al dinamismo y las altas tasas de renuevos que suceden en los guaduales en el espacio y en el tiempo, estos generan acelerados procesos

fotosintéticos que propician el intercambio gaseoso entre C atmosférico y O₂; gran parte del C que es producto de este intercambio, es asimilado y/o almacenado para luego ser convertido en biomasa o en su defecto almacenado en el suelo. Así también lo indican Pan et al. (2023) que a medida que el cambio climático empeore, podrían ocurrir más fenómenos meteorológicos extremos y desastres climáticos. Por lo tanto, tener en cuenta el factor climático es crucial para optimizar el potencial de secuestro de C en bambú.

Asimismo, Yuen et al. (2017), como se cita en Rujeles (2022) indica que el contenido de C en bambú puede variar de acuerdo a diferentes factores. Esto se asocia principalmente al tipo de cubierta terrestre donde se ubique el bosque, variables climáticas como la precipitación y temperatura, variables intrínsecas a los bosques como la densidad de culmos/ha, las condiciones del suelo, así como la edad de los mismos, puesto que, para condiciones de bosques maduros, las cantidades de almacenamiento de C pueden ser mayores (p. 12). En tal sentido, el bambú presenta diversas cualidades que le permitirán entrar dentro de los mecanismos de desarrollo limpio (MDL) y los mercados de C, por su alta y constante fijación de C a través de su biomasa (Ríos, s.f, como se cita en Ramírez et al., 2018, p. 6).

La precipitación, la cual aumenta la disponibilidad de agua para el secuestro de C, lo que influye directamente en su productividad, siendo un factor importante en las reservas de C de bambú (Shi et al., 2018, Chen et al., 2019, Liu et al., 2019, Li et al., 2021, Kang et al., 2022, como se cita en Pan et al., 2023, p. 23). De igual manera Aguirre y Criollo (2020) mencionan que, cuando son mayores la pendiente, la temperatura y la precipitación, el valor de C tiende a incrementar significativamente. Así mismo, factores relacionados con el manejo como la densidad total de culmos, que a la vez es definida en muchos casos por la intensidad de cosecha, tienen un efecto significativo en el contenido total de C, de tal manera que una alta densidad de culmos tienen mayor contenido de C y viceversa (p. 5).

Existen investigaciones sobre la capacidad de fijación de C de varias especies de bambú analizando la tasa de secuestro de C, la producción neta del ecosistema, biomasa y C en bambú y su almacenamiento. Aunque las cifras pueden diferir en varios órdenes de magnitud debido a las diferentes condiciones forestales, prácticas de gestión, diseños de estudio, productividad de las especies y factores climáticos, todas ellas ilustran que el bambú tiene un potencial significativo para mitigar el cambio climático (Pan et al., 2023, p. 5).

4.2. Estimación del carbono en el suelo de plantaciones de bambú

En la Tabla 6 y Anexo 4, se muestran los resultados del C contenido en el suelo de la plantación a una profundidad de 30 cm; siendo la densidad aparente promedio de 1,362 g/cm³, con un porcentaje de M.O (3,797 %), y un porcentaje de contenido de C (2,202 %); resultando una acumulación de captura potencial de C en el suelo de 89,974 tCha⁻¹.

Tabla 6

Carbono almacenado en el suelo de la plantación

Densidad aparente (g/cm ³)	% M O	% C	Profundidad (cm)
1,362	3,797	2,202	30

El gran aporte de biomasa que genera las guaduas, contribuye significativamente a la restauración de la productividad del suelo, aumentando la M.O la cual es esencial para la disponibilidad de nutrientes (Toledo, Marin, & Medina, 2017, como se cita en Ceccon y Gómez, 2019). El CO hace referencia a "la captura de C en el suelo" que implica su absorción por las plantas de bambú, siendo también un almacenamiento fijo como M.O del suelo. El suelo contiene aproximadamente 2344 Pg. (petagramo = mil millones de toneladas) de C.O a 2 m de profundidad (Jyoti, 2015, como se cita en Sánchez, 2019, p. 26).

Asimismo, Hernández et al. (2014) mencionan que la M.O es un indicador clave de la calidad del suelo, ya que en ella ocurren procesos microbiológicos que pueden aportar nutrientes para las plantas, así como la capacidad de almacenar C. Gracias al contenido de M.O, los suelos presentan estabilidad en su estructura y se incrementa su capacidad de infiltración y la disponibilidad de agua para las plantas. Los resultados obtenidos en el estudio presentan un porcentaje alto de M.O, siendo ideal para el desarrollo del bambú y con el ello se asegura un mayor contenido de C.O en el suelo. Sleutel et al., 2007, Vitti et al., 2016, como se cita en Arévalo et al. (2022) indican que, en los últimos años, el estudio de la M.O en los suelos ha tomado gran importancia debido al C.O que la compone. Por ello, el suelo se ha definido como una reserva de C enorme de la biósfera terrestre y la M.O se encuentra entre los factores más importantes en la conservación de la calidad del suelo, ya que es el principal sumidero terrestre de C como forma de captura del CO₂ producido por los efectos de los GEI (p. 2).

El C en el suelo es importante y puede ser igual o superior a la existencia en la biomasa aérea. De acuerdo a la presente investigación la acumulación potencial de C en el suelo (en los primeros 30 cm de profundidad) de la parcela evaluada fue de 89,97 tC ha⁻¹, con una densidad aparente promedio de 1,36 g/cm³ y un porcentaje de contenido de C de 2,20 %, representando más del 60 % del C total, siendo una cantidad superior en comparación al C encontrado en la biomasa (aérea y subterránea). Estos valores son similares a lo reportado por Fonseca y Rojas (2016) en su investigación sobre acumulación y predicción de biomasa y C en plantaciones de bambú en Costa Rica; donde estimaron la biomasa mediante el método destructivo, obteniendo el porcentaje de carbono en el suelo de 2,45 %. En *G. angustifolia* y *G. aculeata* el C promedio almacenado en la biomasa vegetal más el suelo fue de 117,74 Mg ha⁻¹. El suelo representó el 59,9 % (71 Mg ha⁻¹) del C total, los culmos vivos el 32,8 %.

Núñez y Ramírez (2022), en su estudio sobre estimación del potencial de captura de C en plantaciones de *Guadua angustifolia* del distrito Río Negro, provincia Satipo, calcularon la biomasa aérea, suelo. Teniendo como resultado que el potencial de captura de C de *Guadua angustifolia* en el suelo, a 30 cm de profundidad, fue de 36,977 tCha⁻¹, con un porcentaje de C de 1,116 % concluyendo que el potencial en la biomasa aérea fue mayor al potencial del suelo. Estos resultados difieren a los obtenidos en el presente estudio, lo señalado por Zhou et al. (2011) y Liu et al. (2018), como se cita en Ceccon y Gómez (2019), refieren que este almacenamiento el cual es de larga vida en el suelo, varía ampliamente entre especies y dependiendo de las condiciones climáticas. Asimismo, Díaz (2015) realizó un estudio en la finca de la empresa Bambusa S.A, ubicada en la Cuenca del Canal de Panamá, con el propósito de cuantificar las tCha⁻¹ en la especie bambú (*Guadua angustifolia*), en los diferentes compartimientos: hojarascas, culmos, hojas y suelo. Obteniéndose un porcentaje de 62 % (34,5 tCha⁻¹) en el suelo, a 10 cm de profundidad y 38 % en la parte aérea.

El resultado de la investigación es similar al reportado en otros estudios, aunque hacer una comparación puede resultar distinto porque se dan cifras a diferentes profundidades; por ejemplo, Arango y Camargo (2010) citan 148,2 ± 34,06 Mg ha⁻¹ hasta 25 cm de profundidad; hasta los 50 cm, Camargo et al. (2010) reportan 142,8 Mg ha⁻¹ y Yiping et al. (2010) entre 75 y 212 Mg ha⁻¹. Es posible que el ciclo del C y el secuestro de C son más activos en los horizontes superficiales del suelo (FAO, 2017). Asimismo, Zhou et al. (2011), como se cita en Ceccon y Gómez (2019), mencionan que los mayores almacenes de C se encuentran en la parte subterránea, en los suelos, donde permanece almacenado en la capa de M.O de 0 a 10 cm y disminuye al incrementar la profundidad. De igual manera Kothandaraman et al. (2020) refieren que el C.O del suelo es un componente importante del depósito de C y su potencial de almacenamiento varía según el tipo de bosque. Siendo así, que a través de su estudio realizado en almacenamiento de C a nivel de ecosistema y sus vínculos con la diversidad, los

impulsores estructurales y ambientales en los bosques tropicales de Western Ghats, India, determinaron que las reservas de C.O.S son más altas en la capa superior (0 a 30 cm) y disminuyen con el aumento de la profundidad del suelo. Esto podría deberse a que la superficie del suelo suele tener un alto contenido de humus. Además, la disminución del C.O.S con la profundidad podría atribuirse a la compactación del suelo y al ciclo más lento de los depósitos de C.O.S. Tal variación en las reservas de COS podría ser atribuible a la variabilidad en la composición de la vegetación, la calidad y cantidad de la hojarasca, la densidad aparente del suelo, el sustrato original del suelo y el microclima.

Los aspectos topográficos (incluida la posición de la pendiente y la altitud) pueden afectar la reserva de C en bambú. El COS de 0 a 30 cm de la superficie, presenta una correlación positiva con la altitud y la pendiente, mientras que la correlación cambia a negativa para las capas más profundas (60 a 100 cm) con lo que se afecta su potencial secuestro de C. El suelo es el sustrato principal para el crecimiento del bambú, y las condiciones de fertilidad del suelo pueden generar un mayor COS y promover el sumidero de C de las plantas aéreas. Un aspecto importante que afecta directamente al contenido de COS es el espesor del suelo, pues un alto espesor del suelo puede almacenar suficientes nutrientes y agua lo que refleja un mejor rendimiento en la acumulación de biomasa aérea, siendo que el COS disminuye al disminuir el espesor del suelo y generalmente hay menos contenido de C.O en suelos más profundos debido a que la capa superior del suelo contiene más M.O. El nitrógeno, el fósforo y el potasio se correlacionan positivamente con el COS, ya que la cantidad de estos tres elementos afecta el humus del suelo (Colmillo et al., 2018, Prayogo et al., 2021, Cao et al., 2019, Kumar et al., 2022, como se cita en Pan et al, 2023, p.11).

Por otro lado, el suelo es un importante almacén de C, la captura y retención de C en el suelo depende de factores definidos, limitantes o reductores. Los factores definidos se

refieren a la composición mineral del suelo; estas características están asociadas con la textura, profundidad, densidad aparente, fragmentos de roca, drenaje y grado de erosión del suelo (Fisher, 2000 y Robert, 2001). Por otro lado, la FAO (2017) señala que el suelo se ha convertido en uno de los recursos más vulnerables del mundo frente al cambio climático, la degradación de la tierra y la pérdida de biodiversidad. El suelo es una importante reserva de C, conteniendo más C que la atmósfera y la vegetación terrestre en conjunto. El COS es dinámico, no obstante, los impactos antropogénicos sobre el suelo pueden convertirlo en un sumidero o fuente neta de GEI.

V. CONCLUSIONES

El carbono total almacenado en la biomasa (parte aérea y subterránea) y el contenido de carbono almacenado en el suelo de las plantaciones de bambú (*Guadua angustifolia* Kunth), en la jurisdicción del caserío El Muyo, Bagua-Amazonas, se encontraron en una cantidad de 137,803 tCha⁻¹.

La concentración del carbono en la parte aérea de las plantas conformada por culmos, ramas, hojas caulinares y hojas de follaje, fue de 39,14 tCha⁻¹ (28,40 %), mientras que la concentración de carbono en la parte subterránea conformado por los rizomas fue de 8,68 tCha⁻¹ (6,30 %), obteniéndose un total de concentración de carbono en la biomasa (aérea y subterránea) de 47,82 tCha⁻¹ (34,70 %).

El C total almacenado en el suelo de la plantación a una profundidad de 30 cm de la superficie es de 89,97 tCha⁻¹ (65,29 %), siendo superior en comparación a la biomasa vegetal.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda que las instituciones públicas y privadas, promuevan y realicen investigaciones relacionadas a la captura de carbono con fines de participar en la venta de bonos de carbono en beneficio de las poblaciones asociadas y poblaciones dedicadas al manejo y aprovechamiento de plantaciones de bambú, generando de esta manera ingresos económicos y la contribución en la mitigación de los efectos del cambio climático.

Las universidades cuyo fin es desarrollar investigación, deben crear líneas de investigación orientados al manejo, aprovechamiento y comercialización de productos derivados del bambú con un valor agregado y, además, mediante la venta de bonos de carbono, por considerarse a las plantaciones como sumideros de carbono en cortos periodos de tiempo, debido a su rápido crecimiento.

Se deben implementar estrategias que incluyan capacitaciones a productores, artesanos, abordando temas relacionados con la propagación, instalación, y manejo de las plantaciones, brindando a los silvicultores del bambú conocimientos que les permita realizar un aprovechamiento adecuado, orientados a la conservación del ecosistema.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Administración Nacional de la Aeronáutica y el Espacio (NASA). (s. f.). El ciclo del dióxido de carbono.
- Aguirre, D. A., & Criollo, M. (2020). Potencial de los bosques de Guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) en la regulación climática. Caso eje cafetero colombiano. Universidad Tecnológica de Pereira.
- Añazco, M. (2013). Estudio de vulnerabilidad del bambú (*Guadua angustifolia*) al cambio climático, en la costa del Ecuador y norte de Perú. p. 135.
- Arango, A., y Camargo, J. (2010). *Bosques de guadua del eje cafetero de Colombia: oportunidades para su inclusión en el mercado voluntario de carbono y en el Programa REDD+*.
http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8445/Bosques_de_guadua_del_eje_cafetero.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Arévalo, G.E., Sánchez, J.M., y Guillen, I. (2022). Estudio del contenido materia orgánica por dos métodos analíticos en suelos de Honduras. *Ciencias Ambientales* [online], vol. 57, N° 1, 17723. ISSN 2215-3896. <http://dx.doi.org/10.15359/rca.57-1.11>
- Arbeláez, A. (2007). Nueve métodos de propagación de Guadua. Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales.
- Asociación Ecuatoriana para el Desarrollo Sostenible e Integral del Bambú (ECUABAMBU). (2011). La importancia de la caña guadua. Quito, Ecuador.
- Bali, F. (2021). Manual práctico: Cultivo y manejo de la guadua en Venezuela. Instituto Jardín Botánico de Mérida – Universidad de los Andes – INBAR.

- Banco Mundial. (2022). State and trends of carbon pricing 2022. World Bank Publications.
- Briceño, E. (2017). Modelo de producción de bambú guadua mediante técnicas silviculturales para cuantificar crecimiento y almacenamiento de carbono.
- Briones, O., Flores, A., Castellanos, A., Perroni, Y., & Hernández, A. (2020). Población, servicios ecosistémicos y ciclo del carbono. *Elementos de Política Pública*, 4(2).
- Burbano, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Rev. Cienc. Agr.* 35(1): 82-96. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v35n1/0120-0135-rcia-35-01-00082.pdf>
- Camargo, J. (2005). Métodos y técnicas de manejo silvicultural de guaduales naturales y plantados. Cali, Colombia.
- Camargo, JC.; Rodríguez, JA y Arango, AM. (s.f.). Crecimiento y fijación de carbono en una plantación de guadua en la zona cafetera de Colombia. *Comunicación Técnica - Recursos Naturales y Ambiente/no.61: 86-94.* <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/5987/13.Camargo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Catálogo de Sociedades de Vida (2017). APG IV: Clasificación del grupo de filogenia de angiospermas para los órdenes y familias de plantas con flores. Conjunto de datos de lista de verificación. <https://doi.org/10.15468/fzuaam>, consultado a través de GBIF.org
- Casiano, M., Paz, F., Rojo, M., Covaleda, S., Raj, D. (2025). *El carbono de la biomasa aérea medido en cronosecuencias: primera estimación en México.* (Vol. 24). DOI: 10.21829/myb.2018.2401894

- Castillo, Y.E., et al. (2025). Cuantificación de la biomasa aérea y de hojarasca en una plantación de *Guadua angustifolia* Kunth, de tres años de establecido, en Leoncio Prado, Perú. *Revista Latinoamericana de difusión Científica, Volumen 7(número 13)*, pg. (221-240). DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15844460>
- Ceccon, E., & Gómez, P. A. (2019). Funciones ecológicas de los bambúes en la restauración de ecosistemas. *Revista de Biología Tropical*, 67(4), 679–691.
- Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., et al. (2020). Improved allometric models for tropical forests. *Global Change Biology*, 26(3), 1331–1349.
- Cheng, X., Zhou, Y., Zhou, G., & Shi, Y. (2025). Biochar-based fertilizers and carbon sequestration in bamboo forests. *GCB Bioenergy*, 17(7), e70056.
- Cruz, R. H. (s.f.). *Biomasa y atrapamiento de Carbono en Bambú Guadua*. <https://docplayer.es/16035718-Biomasa-y-atrapamiento-de-carbono-en-bambu-guadua.html>
- Díaz. (2019). *Estimación de la captura potencial de carbono en la especie Parkinsonia praecox* (Ruiz & Pav.) Hawkins, Amazonas, Perú.
- Del Castillo, R., & Helen, M. (2018). Plantaciones forestales y servicios ambientales.
- Dopa. (s.f). *Carbono orgánico del suelo, Digital observatory for procectec Areas*. <https://dopa.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/DOPA%20Factsheet%20J1%20ES%20Carbono%20org%C3%A1nico%20del%20suelo.pdf>
- Duval, V. S., Arias, M., & Celemin, J. P. (2022). Secuestro de carbono en árboles urbanos. *Revista de Ciencias Ambientales*.

- Espejo Briceño, D. J. (2024). Captura de carbono de tres especies de bambú nativo en ecosistemas de San Martín y Ucayali. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2020). Ecosystem services and biodiversity. FAO.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2021). Non-wood forest products for sustainable livelihoods. FAO.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2022). Bamboo for climate change mitigation and adaptation. FAO.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) & International Network for Bamboo and Rattan (INBAR). (2023). Bamboo and climate resilience. FAO–INBAR.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) & United Nations Environment Programme (UNEP). (2023). Nature-based solutions for climate change. UNEP.
- Friedlingstein, P., O’Sullivan, M., Jones, M. W., Andrew, R. M., Gregor, L., Hauck, J., & Le Quéré, C. (2023). Global carbon budget 2023. *Earth System Science Data*, 15(12), 5301–5369.
- Giraldo, E., & Sabogal, C. (2009). Manejo sostenible de guaduales.
- Giraldo, L.M. (2021). *Potencial para la mitigación del cambio climático de plantaciones de Guadua (Guadua angustifolia Kunth) en la región del eje cafetero de Colombia*. [Tesis de grado]. Universidad Tecnológica de Pereira. <https://core.ac.uk/download/516517498.pdf>.

- Henquín, L., & Gutiérrez, N. (2022). Potencial productivo del bambú en Jalisco. *Revista de Ciencias Sociales*, 7(13), 159–176.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2019). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines. IPCC.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*. Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report*. IPCC.
- Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES). (2022). *Assessment report on the sustainable use of wild species*. IPBES.
- International Network for Bamboo and Rattan (INBAR). (2022). *Bamboo as a nature-based solution for climate change*. INBAR.
- International Network for Bamboo and Rattan (INBAR). (2024). *Bamboo as a strategic resource for climate resilience*. INBAR.
- Kumar, P. S., Shukla, G., Nath, A. J., & Chakravarty, S. (2022). Soil properties and carbon storage in bamboo species. *Water, Air, & Soil Pollution*, 233, 12.
- Lal, R. (2021). Soil carbon sequestration as a mitigation strategy. *Soil and Tillage Research*, 216, 105262.

Lobovikov, M., Schoene, D., & Yping, L. (2012). Bamboo in climate change mitigation. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 17(3), 261–276.

Londoño, X. (2010). *Identificación taxonómica de los bambúes de la región Noroccidental del Perú*. Ministerio de Agricultura. Dirección General Forestal y de Fauna Silvestre. Perú. Pág. 10, 21.
[http://www.itto.int/files/user/pdf/PROJECT_REPORTS/INFORME%20TAXO
NOMIA%20BAMB%C3%9A.pdf](http://www.itto.int/files/user/pdf/PROJECT_REPORTS/INFORME%20TAXO%20NOMIA%20BAMB%C3%9A.pdf)

Londoño, X. (2011). La guadua: Un bambú importante de América. *Bamboo Science and Culture*.

López, Y.M., Carrasco, Y.L., Mori, R., Cunias, M.Y., Carril – Verastegui, B., y Alvarado, J.C. (2022). *Aspectos socioeconómicos y ambientales del cultivo de bambú en el distrito de Imaza, Amazonas*. (pp. 10-20).
<https://doi.org/10.47460/uct.v2023iSpecial.696>

Mastore, F., et al. (2024). Carbon sequestration in a bamboo plantation: A case study in a Mediterranean area. *Journal of Forestry Research*, 35, 51.

Ministerio del Ambiente (MINAM). (2022). Reporte nacional de deforestación y GEI. Gobierno del Perú.

Núñez y Ramírez. (2022). Estimación del potencial de captura de carbono en las plantaciones de *Guadua angustifolia*, Río Negro – Satipo. Tesis para título profesional. Huancayo – Perú. 55-57 p. Repositorio de la Universidad Nacional del Centro del Perú.
[https://repositorio.uncp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/cdf0c25a-4ef0-48a9-97e4-
5a51e34135d4/content](https://repositorio.uncp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/cdf0c25a-4ef0-48a9-97e4-5a51e34135d4/content)

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia - FAO. (2017). Carbono orgánico del suelo: el potencial oculto. <http://www.fao.org/3/b-i6937s.pdf>
- Pan, C., Zhou, G., Shrestha, A. K., et al. (2023). Bamboo as a nature-based solution. *Climate*, 11(9), 175.
- Picard, N., Saint-André, L., & Henry, M. (2021). Manual for building tree volume and biomass allometric equations. FAO & CIRAD.
- 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-paragarantizar-el-desarrollo-sos-26729>
- Rastogi, A. (2025). Bamboos in climate change mitigation: A perspective. *International Journal of Ecology and Environmental Sciences*, 7(2), 36–40.
- Riaño, J. (2002). Determinación de biomasa acumulada de *Guadua angustifolia* en relación con su edad. Cali, Colombia. 155 p.
- Réjou-Méchain, M., Mortier, F., Bastin, JF. (2021). Revelando la composición de la selva tropical africana y su vulnerabilidad al cambio global. *Naturaleza* 593, 90–94 <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03483-6>
- Rojas, J., Brenes, S., y Abarca, S. (2022). Carbono en el suelo: *comparación entre un área de pastos y un bosque*. *InterSedes*, 23(47), 184–205. DOI 10.15517/isucr. v23i47.47695
- Rujeles, V. (2022). Las especies vegetales en tiempos del cambio climático: *Cálculo de la estimación de absorción de dióxido de carbono atmosférico de las especies: Guadua*

angustifolia Kunth, *Phyllostachys Pubescens* y *Eucalyptus Globulus*.
<http://hdl.handle.net/2117/374317>

Salazar, C., González, J.P., Corrales, D., Lacayo, J., Carrillo, K., & Montero, H. (2020). Comparación de dos métodos para la determinación de la densidad aparente del suelo. *Alcances Tecnológicos*, 13(1), 5 - 12. <https://doi.org/10.35486/at.v13i1.164>

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR). (2021). Manual de manejo integral del bambú. Lima, Perú.

Sociedad Peruana de Derecho Ambiental - SPDA. (2022). Estudio logra identificar 70 especies de bambú en todo el Perú. <https://www.actualidadambiental.pe/estudio-logra-identificar-70-especies-de-bambu-en-todo-el-peru/>

Vallejos, M., Díaz, R., Ascencios, D., y Damian, C. (2020). *Ficha técnica de estado de conservación, Bosque Montano de Yunga – Cerro el Adobe, departamento Amazonas*. [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1453042/3.9%20FT-AMA 09%20Bosque%20Montano%20de%20Yunga%20%20Cerro%20El%20Adobe%20VB.pdf.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1453042/3.9%20FT-AMA%2009%20Bosque%20Montano%20de%20Yunga%20%20Cerro%20El%20Adobe%20VB.pdf.pdf)

Vorontsova, M. S., Clark, L. G., Dransfield, J., Govaerts, R., & Baker, W. J. (2023). World checklist of bamboos and rattans. Royal Botanic Gardens, Kew.

World Bank. (2023). State and trends of carbon pricing 2023. World Bank Group.

Yuen, J. Q., Fung, T., & Ziegler, A. D. (2021). Carbon stocks in bamboo ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 489, 119092.

Zamora, G.P. (2022). *El Biochar de Guadua angustifolia Kunth. Procedente de los residuos del aprovechamiento de plantaciones forestales como enmienda orgánica para el*


suelo. [Tesis de grado]. Universidad Agraria la Molina.
<https://hdl.handle.net/20.500.12996/4483>

Zhou, G., Meng, C., Jiang, P., & Xu, Q. (2022). Carbon dynamics in bamboo forests. *Forest Ecology and Management*, 503, 119785.

ANEXO

Anexo 1. Resultados de análisis de suelo - Laboratorio OIKOSLAB S.A.C

**ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO
DE SUELOS Y AGUAS**


OIKOSLAB
SAC


CERTIFICADO DE ANÁLISIS N° 1402-2018


Solicitante : *Edson Moreno Adrianzen*
Dirección : *Pasaje Altamirano 112- Jaén-Cajamarca*
Proyecto de tesis para optar el título de : *Ingeniero Forestal*
Título Proyecto : *"Secuestro y Almacenamiento de Carbono en las Plantaciones de Bambú del Caserío El Muyo-Bagua-Amazonas"*
Institución Superior de Estudios : *Universidad Nacional de Cajamarca*


Datos de la muestra

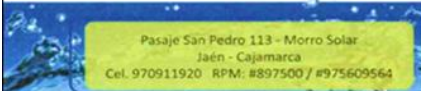
Ubicación de la Muestra : *El Muyo*
Tipo de Muestra : *Biológicas*
Muestreador responsable : *Bach. Edson Moreno Adrianzen*
Fecha y Hora de muestreo : *12/01/2018*
Fecha de Recepción de la muestra : *12/01/2018*
Distrito : *Bagua*
Provincia : *Bagua*
Región : *Amazonas*

Parámetro	Unidad	Resultado
pH	Sin Unidades	7.56
Carbono	%	2.14
Materia Orgánica	%	3.6
Arcilla	%	7.12
Arena	%	87.8
Limo	%	5.08
Textura	Sin Unidades	Arena Franca
Densidad Aparente	g/cm ³	1.49


Jorge A. Belgado Soto
ING. RESPONSABLE
CIP. 66767








Pasaje San Pedro 113 - Morro Solar
Jaén - Cajamarca
Cel. 970911920 RPM: #897500 / #975609564

Anexo 2. Resultado del secado de las submuestras de los componentes – Laboratorio OIKOSLAB S.A.C



**ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO
DE SUELOS Y AGUAS**

CERTIFICADO DE ANÁLISIS N° 1376-2017


Solicitante : Edson Moreno Adrianzen
Dirección : Pasaje Altamirano 112- Jaén-Cajamarca
Proyecto de tesis para optar el título de : Ingeniero Forestal
Título Proyecto : "Secuestro y Almacenamiento de Carbono en las Plantaciones de Bambú del Caerío El Muyo-Bagua-Amazonas"
Institución Superior de Estudios : Universidad Nacional de Cajamarca


I. Datos de la muestra

Ubicación de la Muestra : El Muyo
Tipo de Muestra : Biológicas
Muestreador responsable : Bach. Edson Moreno Adrianzen
Fecha y Hora de muestreo : 15/09/2017
Fecha de Recepción de la muestra : 16/09/2017
Distrito : Aramango
Provincia : Bagua
Región : Amazonas

II.- Cuadro de Resultados

Código	Denominación	W húmedo (g)	W seco (g)
S1CI	Culmo	560.000	330.000
	Ramas	194.621	110.013
	Hojas	189.917	104.962
	Rizomas	280.000	150.000
S1CII	Culmo	650.000	330.000
	Ramas	187.457	110.850
	Hojas	153.861	89.336
	Rizomas	440.000	280.000
S1CIII	Culmo	470.000	235.000
	Ramas	181.260	108.950
	Hojas	165.244	92.494
	Rizomas	520.000	340.000
S1CIV	Culmo	610.000	340.000
	Ramas	140.516	66.389
	Hojas	149.791	81.053
	Rizomas	470.000	320.000
S1CV	Culmo	679.000	337.000
	Ramas	164.000	88.000
	Hojas	131.000	60.000
	Rizomas	440.000	270.000
SSCI	Culmo	495.000	235.000
	Ramas	188.802	107.802
	Hojas	129.835	73.640
	Rizomas	370.000	235.000





Pasaje San Pedro 112 - Morro Solar
Jaén - Cajamarca
Cel. 970911020 BPN: 48075807 / 9075609564

SSCII	Culmo	435.000	240.000
	Ramas	142.101	80.128
	Hojas	137.572	87.003
	Rizomas	320.000	160.000
SSCIII	Culmo	565.000	325.000
	Ramas	170.261	104.689
	Hojas	134.777	61.042
SSCIV	Rizomas	360.000	250.000
	Culmo	530.000	220.000
	Ramas	174.201	80.080
	Hojas	115.332	41.332
SSCV	Hojas Caulinares	133.359	113.653
	Rizomas	350.000	190.000
	Culmo	811.000	416.000
	Ramas	151.000	87.000
S13CI	Hojas	123.000	63.000
	Rizomas	440.000	300.000
	Culmo	705.000	505.000
	Ramas	133.724	72.576
S13CII	Hojas	111.253	51.341
	Rizomas	315.000	210.000
	Culmo	640.000	420.000
S13CIII	Ramas	142.997	80.885
	Hojas	111.303	51.480
	Rizomas	360.000	210.000
S13CIV	Culmo	725.000	435.000
	Ramas	133.287	72.879
	Hojas	143.794	58.093
	Rizomas	320.000	180.000
S13CV	Culmo	580.000	315.000
	Ramas	108.042	58.955
	Hojas	109.803	46.021
	Rizomas	200.000	90.000
S21CI	Culmo	780.000	425.000
	Ramas	180.000	103.000
	Hojas	126.000	59.000
S21CII	Rizomas	280.000	170.000
	Culmo	650.000	310.000
	Ramas	118.985	66.129
	Hojas	124.924	55.104
S21CIII	Rizomas	410.000	255.000
	Culmo	450.000	260.000
	Ramas	120.979	70.772
S21CIV	Hojas	112.538	53.788
	Rizomas	240.000	160.000
	Culmo	385.000	170.000
	Ramas	129.881	81.526
S21CV	Hojas	67.207	31.423
	Rizomas	400.000	240.000



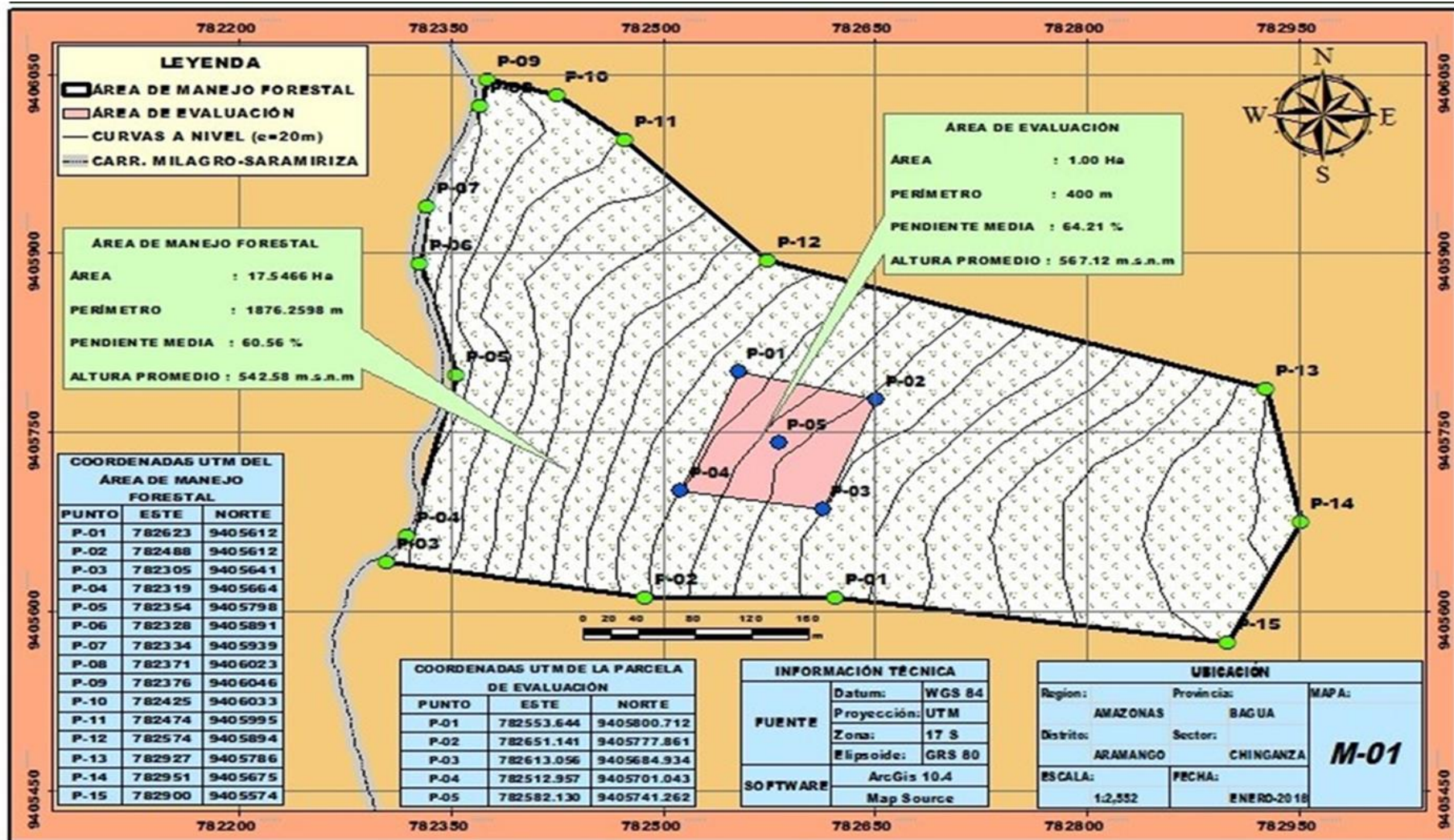
S21CIV	Culmo	705.000	430.000
	Ramas	182.973	97.444
	Hojas	176.845	80.156
	Rizomas	360.000	190.000
S21CV	Culmo	749.000	372.000
	Ramas	146.000	83.000
	Hojas	124.000	59.000
	Rizomas	320.000	180.000
S25CI	Culmo	490.000	285.000
	Ramas	131.430	59.303
	Hojas	106.629	47.834
	Hojas Caulinares	52.851	40.332
	Rizomas	410.000	265.000
S25CII	Culmo	590.000	310.000
	Ramas	130.819	83.183
	Hojas	119.330	54.165
	Rizomas	300.000	190.000
S25CIII	Culmo	510.000	280.000
	Ramas	161.038	101.039
	Hojas	92.653	49.705
	Rizomas	370.000	229.000
S25CIV	Culmo	405.000	190.000
	Ramas	135.984	76.310
	Hojas	106.371	49.390
	Rizomas	245.000	157.000
S25CV	Culmo	783.000	417.000
	Ramas	192.000	102.000
	Hojas	139.000	64.000
	Rizomas	280.000	160.000



Jorge A. Delgado Soto
 ING. RESPONSABLE
 CIP. 66767



Anexo 3. Mapa de ubicación de la plantación y del área de evaluación



Anexo 4. Determinación del carbono contenido en el suelo

Siguiendo la metodología, primero se calculó el porcentaje de carbono en el suelo por el método de WALKLEY y BLACK.

$$\% C = \% MO / 1.724$$

a) Cálculo del % de materia orgánica (MO)

$$\% MO = [4(a - b)] / (a \times c) \times 1.724$$

Donde:

a = Volumen gastado del blanco* (ml)

* Blanco = solución ferrosa ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 1N, sin muestra para conocer la normalidad de la solución.

b = Volumen gastado de la muestra (ml)

c = Peso de la muestra (g)

Valoración:

$$V_i = 10 \text{ ml}$$

$$V_f = 18,4 \text{ ml}$$

Volumen de la muestra

$$V_{gm} = 18,4 - 10 = 8,4 \text{ ml. (Volumen gastado de la muestra)}$$

Volumen del blanco

$$V_i = 18,4 \text{ ml}$$

$$V_f = 28 \text{ ml}$$

$$V_{gm} = 28 - 18,4 = 9,6 \text{ ml (Volumen gastado del blanco)}$$

Peso del suelo utilizado: $p = 0,227 \text{ g}$.

Para el presente método, ya en laboratorio se utilizaron reactivos y materiales como:

- Sulfato ferroso (FeSO_4)
- Difenil amina (indicador)
- Ácido fosfórico (H_3PO_4)
- Dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)
- Ácido sulfúrico (H_2SO_4)

- Matraz Erlenmeyer 500 ml.
- Bureta 50 ml.
- Pipeta volumétrica 10 ml.
- Probeta vidrio 25 ml.

Procedimiento:

1. Se pesó 0,227 g de muestra de suelo, y se vertió en un matraz Erlenmeyer.
2. Se adicionó 10 ml de Dicromato de Potasio ($K_2Cr_2O_7$) 1 N al matraz.
3. Agregar con una bureta 20 ml de Ácido sulfúrico.
4. Dejar reposar por 30' y añadir 200 ml de H_2O destilada.
5. Añadir 5 ml de Ácido fosfórico.
6. Añadir 5 gotas de indicador Difenil amina.
7. Titular la disolución con sulfato ferroso (previamente preparado) gota a gota hasta llegar a un tono verde azulado (Datos de la valoración obtenida para el cálculo del % de Materia Orgánica).

Para el presente método se realizaron dos valoraciones, una conteniendo la muestra de suelo, y la otra conteniendo la muestra en blanco (para cada una se utilizó los reactivos que se describen anteriormente).

Reemplazando en la fórmula para obtener el % M.O se tiene:

$$\% \text{ MO} = [4(a - b)] / (a \times c) \times 1.724$$

$$\% \text{ MO} = (4(9,6 \text{ ml} - 8,4 \text{ ml})) / (9,6 \text{ ml} \times 0,227 \text{ g}) \times 1,724$$

$$\% \text{ MO} = 3,797$$

Reemplazando en la fórmula para el % C, se obtiene:

$$\% \text{ C} = \% \text{ MO} / 1.724$$

$$\% \text{ C} = 3,797 / 1.724$$

$$\% \text{ C} = 2,202$$

b) Cálculo del carbono acumulado en el suelo

$$CS = CC \times DA \times P$$

Donde:

CS = Carbono presente en el suelo (tC ha⁻¹).

CC = Contenido de carbono (%).

DA = Densidad aparente (g/cm³).

P = Profundidad de muestreo (cm).

Reemplazando en la fórmula, tenemos:

$$CS = CC \times DA \times P$$

$$CS = 2,202 \times 1,362 \times 30$$

$$CS = 89,974 \text{ tCha}^{-1}$$

Anexo 5. Determinación de la clase textural - Método del Hidrómetro de Bouyoucos

Lectura	Tiempo	H - 152	H - 152	T° F	T° Calibración	Calibración	K (constante)	FC = D * K	LHC = H + FC
16:13	30"	1.002	3.5	81	68	81 - 68 = 13	0.2	13 * 0.2 = 2.6	3.5 + 2.6 = 6.1
16:14	1'	1.001							
16:18	5'	1	0.5						
16:43	30'	1							
17:15	60'	1	0.5	83.3	68	$\frac{83.3 - 68}{15.3} =$	0.2	5.3 * 0.2 = 3.0	$\frac{0.5 + 3.06}{3.56} =$

Cálculos:

$$1) \% \text{ Arena} = 100 - \frac{LHC}{50} \times 100 = 100 - \frac{6.1}{50} \times 100 = 87.8 \%$$

$$2) \% \text{ Arcilla} = \frac{LHC}{50} \times 100 = \frac{3.56}{50} \times 100 = 7.12 \%$$

$$3) \% \text{ Limo} = 100 \% - (\% \text{ Arena} + \% \text{ Arcilla}) = 100 - (87.8 + 7.12) = 5.08 \%$$

Donde:

H - 151 = Escala B, según tabla en función de la lectura

H - 152 = Escala A, según tabla en función de la lectura.

LHC = Lectura del hidrómetro corregido.

T° Calibración = T° que viene marcado en el equipo.

K = Factor constante.

FC = Factor de corrección para lectura.

Δ = Diferencia de T°.

Con los porcentajes obtenidos tanto en arena, limo y arcilla, estos valores los llevamos al triángulo textural para determinar el tipo de suelo (textura del suelo).

Anexo 6. Inventario en las parcelas evaluadas

Código Parcela	Cuadrante	DAP (cm)	Longitud de culmo (m)	Número de culmos / parcela
S1	G1-CI	12,1	16,50	43
	G1-CII	14,32	22,30	
	G1-CIII	12,41	17,40	
	G1-CIV	10,82	15,90	
	G1-CV	9,93	14,50	
S5	G5-CI	13,37	19,80	126
	G5-CII	10,5	16,80	
	G5-CIII	10,5	18,30	
	G5-CIV	13,37	19,25	
	G5-CV	9,38	13,35	
S13	G13-CI	12,1	17,30	60
	G13-CII	13,05	19,20	
	G13-CIII	13,37	17,60	
	G13-CIV	13,05	19,60	
	G13-CV	10,28	15,23	
S21	G21-CI	13,69	20,30	68
	G21-CII	14,32	19,00	
	G21-CIII	14,64	20,90	
	G21-CIV	13,69	20,00	
	G21-CV	9,17	14,94	
S25	G25-CI	13,05	20,10	63
	G25-CII	14,32	20,47	
	G25-CIII	14,01	18,90	
	G25-CIV	12,41	19,00	
	G25-CV	10,55	16,3	

Anexo 7. Peso húmedo y peso seco de los culmos de *Guadua angustifolia* Kunth

Código Parcela	Cuadrante	Culmos				Peso seco (kg)
		Peso fresco (kg)	Submuestra (Laboratorio)			
			<i>h</i>	<i>s</i>	<i>Factor</i>	
G1	G1-CI	58,50	560	330	0,59	34,473
	G1-CII	51,50	650	330	0,51	26,146
	G1-CIII	72,00	470	235	0,50	36,000
	G1-CIV	94,00	610	340	0,56	52,393
	G1-CV	48,56	679	337	0,50	24,101
G5	G5-CI	42,00	495	235	0,47	19,939
	G5-CII	58,00	435	240	0,55	32,000
	G5-CIII	83,00	565	325	0,58	47,743
	G5-CIV	86,00	530	220	0,42	35,698
	G5-CV	46,69	811	416	0,51	23,949
G13	G13-CI	75,00	705	505	0,72	53,723
	G13-CII	74,00	640	420	0,66	48,563
	G13-CIII	65,00	725	435	0,60	39,000
	G13-CIV	79,00	580	315	0,54	42,905
	G13-CV	58,96	780	425	0,54	32,126
G21	G21-CI	87,00	650	310	0,48	41,492
	G21-CII	83,00	450	260	0,58	47,956
	G21-CIII	79,00	385	170	0,44	34,883
	G21-CIV	85,00	705	430	0,61	51,844
	G21-CV	65,28	749	372	0,50	32,422
G25	G25-CI	81,00	490	285	0,58	47,112
	G25-CII	79,00	590	310	0,53	41,508
	G25-CIII	86,00	510	280	0,55	47,216
	G25-CIV	68,00	405	190	0,47	31,901
	G25-CV	70,05	783	417	0,53	37,306

Anexo 8. Peso húmedo y peso seco de las ramas de *Guadua angustifolia* Kunth

Código Parcela	Cuadrante	Ramas				
		Peso fresco (kg)	Submuestra (laboratorio)			Peso seco (kg)
			<i>h</i>	<i>s</i>	<i>Factor</i>	
G1	G1-CI	8,00	194,621	110,013	0,57	4,522
	G1-CII	9,00	187,457	110,850	0,59	5,322
	G1-CIII	8,20	181,260	108,950	0,60	4,929
	G1-CIV	11,00	140,516	66,389	0,47	5,197
	G1-CV	7,120	164,000	88,000	0,54	3,820
G5	G5-CI	6,00	188,802	107,802	0,57	3,426
	G5-CII	7,00	142,101	80,128	0,56	3,947
	G5-CIII	6,00	170,261	104,689	0,61	3,689
	G5-CIV	10,00	174,201	80,080	0,46	4,597
	G5-CV	5,245	151,000	87,000	0,58	3,022
G13	G13-CI	11,00	133,724	72,576	0,54	5,970
	G13-CII	9,00	142,997	80,885	0,57	5,091
	G13-CIII	6,00	133,287	72,879	0,55	3,281
	G13-CIV	8,00	108,042	58,955	0,55	4,365
	G13-CV	5,430	180,000	103,000	0,57	3,107
G21	G21-CI	7,00	118,985	66,129	0,56	3,890
	G21-CII	11,00	120,979	70,772	0,58	6,435
	G21-CIII	6,00	129,881	81,526	0,63	3,766
	G21-CIV	9,00	182,973	97,444	0,53	4,793
	G21-CV	4,185	146,000	83,000	0,57	2,379
G25	G25-CI	10,00	131,430	59,303	0,45	4,512
	G25-CII	9,00	130,819	83,183	0,64	5,723
	G25-CIII	9,00	161,038	101,039	0,63	5,647
	G25-CIV	5,00	135,984	76,310	0,56	2,806
	G25-CV	4,215	192,000	102,000	0,53	2,239

Anexo 9. Peso húmedo y peso seco de los rizomas de *Guadua angustifolia* Kunth

Código Parcela	Cuadrante	Rizomas				
		Peso fresco (kg)	Submuestra (Laboratorio)			Peso seco (kg)
			<i>h</i>	<i>s</i>	<i>Factor</i>	
G1	G1-CI	13,660	280	150	0,54	7,318
	G1-CII	15,785	440	280	0,64	10,045
	G1-CIII	19,335	520	340	0,65	12,642
	G1-CIV	22,000	470	320	0,68	14,979
	G1-CV	15,160	440	270	0,61	9,303
G5	G5-CI	18,000	370	235	0,64	11,432
	G5-CII	10,240	320	160	0,50	5,120
	G5-CIII	14,420	360	250	0,69	10,014
	G5-CIV	12,400	350	190	0,54	6,731
	G5-CV	17,790	440	300	0,68	12,130
G13	G13-CI	19,000	315	210	0,67	12,667
	G13-CII	15,230	360	210	0,58	8,884
	G13-CIII	10,620	320	180	0,56	5,974
	G13-CIV	17,045	200	90	0,45	7,670
	G13-CV	13,000	280	170	0,61	7,893
G21	G21-CI	20,000	410	255	0,62	12,439
	G21-CII	12,536	240	160	0,67	8,357
	G21-CIII	16,650	400	240	0,60	9,990
	G21-CIV	18,200	360	190	0,53	9,606
	G21-CV	18,970	320	180	0,56	10,671
G25	G25-CI	23,000	410	265	0,65	14,866
	G25-CII	19,110	300	190	0,63	12,103
	G25-CIII	10,600	370	229	0,62	6,561
	G25-CIV	16,760	245	157	0,64	10,740
	G25-CV	12,970	280	160	0,57	7,411

Anexo 10. Peso húmedo y peso seco de las hojas de follaje de *Guadua angustifolia* Kunth

Código Parcela	Cuadrante	Hojas de follaje				Peso seco (kg)
		Peso fresco (kg)	Submuestra (laboratorio)			
			<i>h</i>	<i>s</i>	<i>Factor</i>	
G1	G1-CI	3,4	189,917	104,962	0,55	1,879
	G1-CII	4,7	153,861	89,336	0,58	2,729
	G1-CIII	6,0	165,244	92,494	0,56	3,358
	G1-CIV	7,0	149,791	81,053	0,54	3,788
	G1-CV	3,7	131,000	60,000	0,46	1,695
G5	G5-CI	3,2	129,835	73,640	0,57	1,815
	G5-CII	6,5	137,572	87,003	0,63	4,111
	G5-CIII	2,2	134,777	61,042	0,45	0,996
	G5-CIV	3,0	115,332	41,332	0,36	1,075
	G5-CV	1,2	123,000	63,000	0,51	0,615
G13	G13-CI	4,0	111,253	51,341	0,46	1,846
	G13-CII	3,0	111,303	51,480	0,46	1,388
	G13-CIII	2,5	143,794	58,093	0,40	1,010
	G13-CIV	3,2	109,803	46,021	0,42	1,341
	G13-CV	2,6	126,000	59,000	0,47	1,217
G21	G21-CI	3,0	124,924	55,104	0,44	1,323
	G21-CII	3,8	112,538	53,788	0,48	1,816
	G21-CIII	2,0	67,207	31,423	0,47	0,935
	G21-CIV	5,0	176,845	80,156	0,45	2,266
	G21-CV	2,3	124,000	59,000	0,48	1,094
G25	G25-CI	4,0	106,629	47,834	0,45	1,794
	G25-CII	5,1	119,330	54,165	0,45	2,315
	G25-CIII	5,3	92,653	49,705	0,54	2,843
	G25-CIV	3,0	106,371	49,390	0,46	1,393
	G25-CV	2,9	139,000	64,000	0,46	1,335

Anexo 11. Peso húmedo y peso seco de hojas caulinares de *Guadua angustifolia* Kunth

Código Parcela	Cuadrante	Hojas caulinares				
		Peso fresco (kg)	Submuestra (laboratorio)			Peso seco (kg)
			<i>h</i>	<i>s</i>	<i>Factor</i>	
G5	G5-CIV	0,369	133,359	113,653	0,85	0,314
G25	G25-CI	0,136	52,851	40,332	0,76	0,104

Anexo 12. Peso fresco y peso seco total de los componentes morfológicos por planta

Código Parcela	Cuadrante	Peso fresco (kg)					Total (kg)
		<i>Culmos</i>	<i>Ramas</i>	<i>Rizomas</i>	<i>Hojas follaje</i>	<i>Hojas caulinare</i> s	
G1	G1-CI	58,50	8,000	13,660	3,4	0,0	83,560
	G1-CII	51,50	9,000	15,785	4,7	0,0	80,985
	G1-CIII	72,00	8,200	19,335	6,0	0,0	105,535
	G1-CIV	94,00	11,000	22,000	7,0	0,0	134,000
	G1-CV	48,56	7,120	15,160	3,7	0,0	74,540
G5	G5-CI	42,00	6,000	18,000	3,2	0,0	69,200
	G5-CII	58,00	7,000	10,240	6,5	0,0	81,740
	G5-CIII	83,00	6,000	14,420	2,2	0,0	105,620
	G5-CIV	86,00	10,000	12,400	3,0	0,369	111,769
	G5-CV	46,69	5,245	17,790	1,2	0,0	70,925
G13	G13-CI	75,00	11,000	19,000	4,0	0,0	109,000
	G13-CII	74,00	9,000	15,230	3,0	0,0	101,230
	G13-CIII	65,00	6,000	10,620	2,5	0,0	84,120
	G13-CIV	79,00	8,000	17,045	3,2	0,0	107,245
	G13-CV	58,96	5,430	13,000	2,6	0,0	79,990
G21	G21-CI	87,00	7,000	20,000	3,0	0,0	117,000
	G21-CII	83,00	11,000	12,536	3,8	0,0	110,336
	G21-CIII	79,00	6,000	16,650	2,0	0,0	103,650
	G21-CIV	85,00	9,000	18,200	5,0	0,0	117,200
	G21-CV	65,28	4,185	18,970	2,3	0,0	90,735
G25	G25-CI	81,00	10,000	23,000	4,0	0,136	118,136
	G25-CII	79,00	9,000	19,110	5,1	0,0	112,210
	G25-CIII	86,00	9,000	10,600	5,3	0,0	110,900
	G25-CIV	68,00	5,000	16,760	3,0	0,0	92,760
	G25-CV	70,05	4,215	12,970	2,9	0,0	90,135

...continuación Anexo 12.

Código Parcela	Cuadrante	Peso seco (kg)					Total (kg)
		<i>Culmos</i>	<i>Ramas</i>	<i>Rizomas</i>	<i>Hojas follaje</i>	<i>Hojas caulinares</i>	
G1	G1-CI	34,473	4,522	7,318	1,879	0,0	48,192
	G1-CII	26,146	5,322	10,045	2,729	0,0	44,242
	G1-CIII	36,000	4,929	12,642	3,358	0,0	56,929
	G1-CIV	52,393	5,197	14,979	3,788	0,0	76,357
	G1-CV	24,101	3,820	9,303	1,695	0,0	38,919
G5	G5-CI	19,939	3,426	11,432	1,815	0,0	36,613
	G5-CII	32,000	3,947	5,120	4,111	0,0	45,178
	G5-CIII	47,743	3,689	10,014	0,996	0,0	62,443
	G5-CIV	35,698	4,597	6,731	1,075	0,314	48,416
	G5-CV	23,949	3,022	12,130	0,615	0,0	39,716
G13	G13-CI	53,723	5,970	12,667	1,846	0,0	74,206
	G13-CII	48,563	5,091	8,884	1,388	0,0	63,925
	G13-CIII	39,000	3,281	5,974	1,010	0,0	49,264
	G13-CIV	42,905	4,365	7,670	1,341	0,0	56,282
	G13-CV	32,126	3,107	7,893	1,217	0,0	44,343
G21	G21-CI	41,492	3,890	12,439	1,323	0,0	59,145
	21-CII	47,956	6,435	8,357	1,816	0,0	64,564
	G21-CIII	34,883	3,766	9,990	0,935	0,0	49,574
	G21-CIV	51,844	4,793	9,606	2,266	0,0	68,509
	G21-CV	32,422	2,379	10,671	1,094	0,0	46,566
G25	G25-CI	47,112	4,512	14,866	1,794	0,104	68,389
	G25-CII	41,508	5,723	12,103	2,315	0,0	61,649
	G25-CIII	47,216	5,647	6,561	2,843	0,0	62,266
	G25-CIV	31,901	2,806	10,740	1,393	0,0	46,840
	G25-CV	37,306	2,365	7,411	1,335	0,0	48,418

Anexo 13. Peso fresco y peso seco de los componentes morfológicos por parcela

Código Parcela	<i>Peso fresco</i>					Total (kg)
	Culmos (kg)	Ramas (kg)	Rizomas (kg)	Hojas follaje (kg)	Hojas caulinares (kg)	
G1	2791,216	372,552	739,084	213,280	0,00	4116,132
G5	7955,388	862,974	1835,820	405,720	7,380	11067,282
G13	4223,520	473,160	898,740	183,600	0,00	5779,020
G21	5430,208	505,716	1174,442	218,960	0,00	7329,326
G25	4839,030	468,909	1038,744	255,780	2,142	6604,605

Código Parcela	<i>Peso seco</i>					Total (kg)
	Culmos (kg)	Ramas (kg)	Rizomas (kg)	Hojas follaje (kg)	Hojas caulinares (kg)	
G1	1488,781	204,599	466,863	115,661	0,00	2275,903
G5	4015,125	470,767	1144,768	217,019	6,289	5853,968
G13	2595,801	261,768	517,052	81,626	0,00	3456,247
G21	2836,920	289,187	694,451	101,120	0,00	3921,677
G25	2583,554	265,266	651,179	121,978	1,635	3623,613

Código Parcela	Peso fresco (kg)	Peso seco (kg)
G1	4116,132	2275,903
G5	11067,282	5853,968
G13	5779,020	3456,247
G21	7329,326	3921,677
G25	6604,605	3623,613
Peso total tha⁻¹	174,482	95,657

Anexo 14. Panel fotográfico



Foto 1. Equipo de trabajo de campo



Foto 2. Herramientas y equipos para el trabajo de campo



Foto 3. Colección de hojas caulinares de bambú



Foto 4. Colección de las ramas y hojas de bambú



Foto 5. Medición y trozado del culmo para pesarlo



Foto 6. Pesado de las ramas de bambú



Foto 7. Acondicionamiento y procesamiento de las muestras en laboratorio OIKOSLAB S.A.C

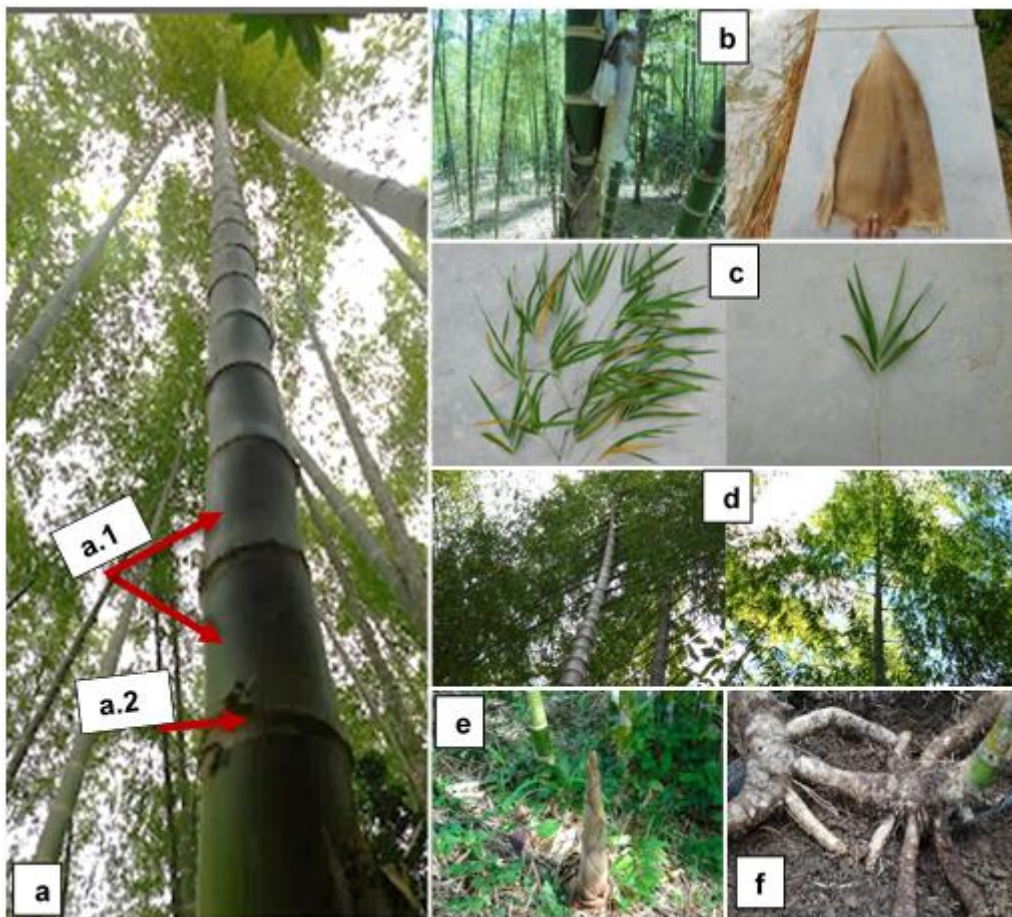


Foto 8. Partes de la *Guadua angustifolia* Kunth: a) Culmo, a.1) entrenudo, a.2) nudo, b) hojas caulinares, c) hojas de follaje, d) ramas, e) renuevo, f) rizomas.