

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN**

**RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



**MONITOREO DEL CRECIMIENTO EN UNA PLANTACIÓN DE *Guadua angustifolia* Kunth DE DOS AÑOS DE ESTABLECIDO EN TULUMAYO, PUEBLO NUEVO, HUÁNUCO, PERÚ**

**Tesis**

**Para optar el título de:**

**INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**PRESENTADO POR:**

**DIANA ANGIE EUGENIO MIGUEL**

**Tingo María – Perú**

**2025**



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 088-2025-FRNR-UNAS**

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 28 de abril de 2025, a horas 7:00 p.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva para calificar la tesis titulada:

**“MONITOREO DEL CRECIMIENTO EN UNA PLANTACIÓN DE *Guadua angustifolia* Kunth DE DOS AÑOS DE ESTABLECIDO EN TULUMAYO, PUEBLO NUEVO, HUÁNUCO, PERÚ”**

Presentado por el Bachiller: **EUGENIO MIGUEL, DIANA ANGIE** después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENA”**.

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

Tingo María, 04 de agosto de 2025

  
**Dr. LADISLAO RUIZ RENGIFO**  
**PRESIDENTE**

  
**Ph. D. VICENTE S. POCOMUCHA POMA**  
**MIEMBRO**



  
**Ing. MSc. WARREN RIOS GARCIA**  
**MIEMBRO**

  
**Ing. MSc. EDILBERTO DIAZ QUINTANA**  
**ASESOR**



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

## CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 286 - 2025 - CS-RIDUNAS

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

### CERTIFICA QUE:

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

### Programa de Estudio:

Ingeniería en Recursos Naturales Renovables

### Tipo de documento:

Tesis  Trabajo de Suficiencia Profesional

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE	
		SIMILITUD	CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL
MONITOREO DEL CRECIMIENTO EN UNA PLANTACIÓN DE <i>Guadua angustifolia Kunth</i> DE DOS AÑOS DE ESTABLECIDO EN TULUMAYO, PUEBLO NUEVO, HUÁNUCO, PERÚ	DIANA ANGIE EUGENIO MIGUEL	05 % Cinco	Menor a 20 %

Tingo María, 28 de agosto de 2025.

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

C.C. Archivo

# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

## FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

### ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES



#### MONITOREO DEL CRECIMIENTO EN UNA PLANTACIÓN DE *Guadua angustifolia* Kunth DE DOS AÑOS DE ESTABLECIDO EN TULUMAYO, PUEBLO NUEVO, HUÁNUCO, PERÚ

<b>Autor</b>	: Diana Angie Eugenio Miguel
<b>Asesor</b>	: Ing. M.Sc. Edilberto Diaz Quintana
<b>Área de investigación</b>	: Valorización de la biodiversidad, recursos naturales y biotecnología
<b>Grupo de investigación</b>	: Manejo, conservación y aprovechamiento sostenible de la biodiversidad y recursos naturales
<b>Línea de investigación</b>	: Manejo, conservación y aprovechamiento sostenible de la biodiversidad y recursos naturales
<b>Lugar de ejecución</b>	: Centro de investigación y producción Tulumayo Anexo la Divisoria y Puerto Súngaro (CIPTALD)
<b>Duración</b>	: 08 meses
<b>Financiamiento</b>	: S/. 16 940,00
<b>FEDU</b>	: No
<b>Propio</b>	: Si
<b>Otros</b>	: No

Tingo María – Perú, 2025



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN  
OFICINA DE INVESTIGACIÓN  
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA  
SELVA**

**REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO,  
TÍTULO PROFESIONAL, INVESTIGACIÓN DOCENTE Y TESIS TA**

**I. Datos generales**

Universidad	: Universidad Nacional Agraria de la Selva
Facultad	: Facultad de Recursos Naturales Renovable
Escuela Profesional	: Escuela Profesional de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables
Título de la Tesis	: Monitoreo del crecimiento en una plantación de <i>Guadua angustifolia</i> Kunth de dos años de establecido en Tulumayo, Pueblo Nuevo, Huánuco, Perú
Objetivo general	: Conocer el crecimiento en una plantación de <i>Guadua angustifolia</i> Kunth de dos años de establecido en Tulumayo, Pueblo Nuevo, Huánuco-Perú
Autor de la tesis	: Diana Angie Eugenio Miguel
DNI	: 71561410
Correo electrónico	: diana.eugenio@unas.edu.pe
Asesor de la Tesis	: Ing. M.Sc. Edilberto Díaz Quintana
Área de investigación	: Valorización de la biodiversidad, recursos naturales y biotecnología
Grupo de investigación	: Manejo, conservación y aprovechamiento sostenible de la biodiversidad y recursos naturales
Línea de investigación	: Manejo, conservación y aprovechamiento sostenible de la biodiversidad y recursos naturales
Lugar de ejecución	: Centro de investigación y producción Tulumayo Anexo la Divisoria y Puerto Súngaro (CIPTALD)
Fecha de inicio	: 30 de marzo del 2024
Fecha de termino	: 30 de octubre del 2024
Presupuesto	: S/. 16 940,00
Financiamiento	: Propio (x) FEDU ( ) Externo ( )

**Tingo María, Perú, junio 2025**

Diana Angie Eugenio Miguel  
**Tesista**

Ing. MSc Edilberto Díaz Quintana  
**Asesor**

## **DEDICATORIA**

Dedico este logro a Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza, llenándome de sabiduría, fe y resiliencia en cada paso de este camino de formación académica. A mi madre Eva Miguel quien es el pilar y motivo de mi vida, por su amor incondicional, su apoyo constante, esfuerzo y sacrificio siendo siempre mi mayor inspiración para alcanzar este sueño, por ser siempre el ejemplo de mujer guerrera, este logro también es tuyo.

A mis hermanos por creer en mi y siempre apoyarme en todo momento. En especial a Jusein quien siempre estuvo para mi y conmigo, cuando no podía ni conmigo misma, por sus palabras de aliento y su compañerismo inigualable siendo el mejor cómplice de vida. Dedico este logro a toda mi familia por enseñarme que todo se puede con esfuerzo y dedicación a pesar de las dificultades siempre habrá una solución para todo, siempre estaré agradecida con cada uno de ellos por cada esfuerzo y amor que me brindaron para que esto sea posible y se los recompensaré hasta el último momento.

También se lo dedico a una persona en especial quien pude conocer en este camino e inspirarme a ser mejor cada día, como profesional y ser humano, por rescatar lo valioso de mí siempre y hacerme sentir feliz con su amor incondicional.

## **AGRADECIMIENTO**

- A Dios por darme la dicha de ver uno de mis grandes metas hecho realidad, por cuidar he iluminar mi camino en este proceso y ponerme a las personas correctas para que me guiaran de la mejor forma.
- A la Universidad Nacional Agraria La Selva, mi “Alma mater”, por brindarme las aulas de formación académica durante mis años de estudiante, tengo el orgullo de ser Unasino.
- A mis queridos y prestigiosos docentes de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, por todos los conocimientos impartidos, por su paciencia y guiarnos siempre para convertirnos en los mejores profesionales.
- Al Ing M. Sc. Edilberto Diaz Quintana, por sus sabios consejos siendo de vital importancia en esta investigación. Sin sus valiosos aportes, experiencias y conocimientos, no hubiera podido completar mi investigación.
- A mi madre quien fue y sigue siendo mi más grande inspiración de lucha hacia mis sueños.
- A mis hermanos por el apoyo incondicional y el amor verdadero que me brindaron en el camino de esta formación académica.

## ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Marco teórico .....	3
2.1.1. El bambú .....	3
2.1.2. Plantaciones de <i>G. angustifolia</i> .....	3
2.1.3. Crecimiento de plantaciones de <i>G. angustifolia</i> .....	4
2.1.4. Cálculo de biomasa aérea en bosques y bambú.....	5
2.1.5. Modelos alométricos .....	7
2.2. Estado del arte .....	8
2.2.1. A nivel internacional.....	8
2.2.2. A nivel nacional .....	11
2.2.3. A nivel local .....	12
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	13
3.1. Lugar de ejecución .....	13
3.1.1. Ubicación geográfica y política.....	13
3.1.2. Formación ecológica.....	14
3.1.3. Condiciones climáticas .....	14
3.2. Material y métodos.....	14
3.2.1. Materiales y equipos .....	14
3.2.2. Metodología .....	14
3.2.2.1. Desarrollo y técnica de recolección de información para la tesis .....	14
3.2.2.2. Medidas de tendencia central y de dispersión del diámetro, altura número de brotes de <i>G. angustifolia</i> .....	15
3.2.2.3. Biomasa aérea, carbono almacenado y dióxido de carbono secuestrado en la plantación de <i>G. angustifolia</i> .....	15
3.2.2.4. Modelo alométrico para el cálculo de secuestro de dióxido de carbono en la plantación de <i>G. angustifolia</i> .....	17
3.2.2.5. Tipo y diseño de investigación.....	17
3.2.2.6. Población.....	18
3.2.2.7. Muestras .....	18
3.2.2.8. Variables de la investigación .....	18

3.2.2.9. Técnicas para la colecta de información de campo .....	18
3.2.2.10. Evaluación estadística .....	18
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	19
4.1. Medidas de tendencia central y medidas de dispersión del diámetro, altura, número de brotes de <i>G. angustifolia</i> .....	19
4.2. Biomasa área, el carbono almacenado y el dióxido de carbono secuestrado en la plantación de <i>Guadua angustifolia</i> .....	23
4.3. Modelo alométrico para el cálculo del secuestro del dióxido de carbono en la plantación de <i>Guadua angustifolia</i> .....	25
V. CONCLUSIONES .....	29
VI. PROPUESTAS A FUTURO .....	30
VII. REFERENCIAS .....	31
ANEXO .....	36

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Coordenadas del polígono del área de investigación. ....	13
2. Variable e indicadores. ....	18
3. Valores estadísticos del número de cañas, diámetro y altura de <i>G. angustifolia</i> . ....	19
4. Valores estadísticos del número de brotes de <i>G. angustifolia</i> . ....	22
5. Estadísticos del CH, Biomasa, C y CO <sub>2</sub> por Kg/caña. ....	23
6. Ecuaciones alométricas para diámetro de <i>G. angustifolia</i> . ....	26
7. Ecuaciones alométricas para altura de <i>G. angustifolia</i> . ....	26
8. Cálculo del CO <sub>2</sub> basado en el diámetro de la caña. ....	27
9. Cálculo del CO <sub>2</sub> basado en la altura de la caña. ....	28
10. Número de cañas, diámetro y altura por mata de <i>G. angustifolia</i> . ....	37
11. Número de brotes por mata y altura de <i>G. angustifolia</i> . ....	42
12. Número de cañas, biomasa, carbono y CO <sub>2</sub> por mata de <i>G. angustifolia</i> . ....	43

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Mapa de ubicación del área de investigación. ....	13
2. Cajas y bigotes (boxplot) de la distribución del número de cañas por mata. ....	20
3. Cajas y bigotes (boxplot) de la distribución del diámetro de cañas por mata. ....	21
4. Cajas y bigotes (boxplot) de la distribución de altura de cañas por mata. ....	21
5. Cajas y bigotes (boxplot) de la distribución del número de brotes por mata. ....	23
6. Contenido de humedad de cañas, ramas y hojas. ....	24
7. Cantidad de biomasa, carbono y dióxido de carbono en t/ha. ....	25
8. Ecuación lineal del diámetro. ....	44
9. Residuo de la ecuación lineal. ....	44
10. Ecuación potencial del diámetro. ....	44
11. Residuo de la ecuación potencial. ....	44
12. Ecuación exponencial del diámetro. ....	44
13. Residuo de la ecuación exponencial. ....	44
14. Ecuación polinómica de grado 2 del diámetro. ....	45
15. Residuo de la ecuación polinómica de grado 2. ....	45
16. Ecuación polinómica de grado 3 del diámetro. ....	45
17. Residuo de la ecuación polinómica de grado 3. ....	45
18. Ecuación lineal de la altura. ....	45
19. Residuo de la ecuación lineal. ....	45
20. Ecuación potencial de la altura. ....	46
21. Residuo de la ecuación potencial. ....	46
22. Ecuación exponencial de la altura. ....	46
23. Residuo de la ecuación exponencial. ....	46
24. Ecuación polinómica de grado 2 de la altura. ....	46
25. Residuo de la ecuación polinómica de grado 2. ....	46
26. Ecuación polinómica de grado 3 de la altura. ....	47
27. Residuo de la ecuación polinómica de grado 3. ....	47
28. Medición del diámetro de cañas. ....	48
29. Marcado de cañas para el raleo. ....	48
30. Registro de datos de las variables en investigación. ....	49
31. Poda de ramas de las cañas de bambú. ....	49

32. Raleo de cañas para las mediciones de contenido de humedad, biomasa y CO <sub>2</sub> .....	50
33. Mediciones del diámetro para las ecuaciones alométricas (a).....	50
34. Mediciones del diámetro para las ecuaciones alométricas (b).....	51
35. Medición del largo de caña para las ecuaciones alométricas. ....	51
36. Seccionamiento de cañas para el cálculo del contenido de humedad. ....	52
37. Secciones de caña para las mediciones de peso fresco y su transporte a horno. ....	52
38. Obtención de ramas y hojas para la obtención del peso fresco y llevar al horno. ....	53
39. Colocación del letrero en el área de investigación junto al asesor. ....	53
40. Visita del miembro del jurado de tesis al área de investigación (a).....	54
41. Visita del miembro del jurado de tesis al área de investigación (b). ....	54
42. Visita del miembro del jurado de tesis al área de investigación (c).....	55
43. Visita del miembro del jurado de tesis al área de investigación (d). ....	55

## RESUMEN

Esta investigación monitoreó el crecimiento en una plantación de *Guadua angustifolia* Kunth de dos años de establecido en Tulumayo, Huánuco, Perú. El estudio midió variables dasométricas (diámetro, altura, número de brotes) y calculó la biomasa aérea, el carbono almacenado y el CO<sub>2</sub> secuestrado mediante métodos destructivos y modelos alométricos. Los resultados mostraron un promedio de  $6,21 \pm 0,495$  cañas por mata, con diámetros de  $4,11 \pm 0,227$  cm y alturas de  $5,75 \pm 0,324$  m. La biomasa aérea estimada fue de 34,87 t/ha, con 17,44 t/ha de carbono y 63,99 t/ha de CO<sub>2</sub>. Los modelos alométricos basados en el diámetro, especialmente el polinómico de tercer grado ( $R^2 = 0,27$ ), demostraron mayor precisión para estimar el CO<sub>2</sub> almacenado, mientras que los modelos basados en altura fueron menos efectivos ( $R^2 < 0,07$ ). El estudio destaca la importancia de *G. angustifolia* como recurso sostenible para la captura de carbono y la restauración de ecosistemas degradados, aportando datos clave para su manejo silvicultural. Se recomienda incluir más variables en futuros modelos para mejorar su precisión y ampliar el muestreo. Esta investigación contribuye al conocimiento sobre el crecimiento temprano del bambú y su rol en la mitigación del cambio climático, relevante para políticas de conservación y aprovechamiento sostenible de recursos naturales.

Palabras clave: *Guadua angustifolia*, biomasa, carbono, alometría, restauración.

## ABSTRACT

This research monitored the growth of a two-year-old *Guadua angustifolia* Kunth plantation in Tulumayo, Huánuco, Peru. The study measured dasometric variables (diameter, height, number of shoots) and calculated aboveground biomass, carbon stored and CO<sub>2</sub> sequestered using destructive methods and allometric models. The results showed an average of  $6.21 \pm 0.495$  canes per bush, with diameters of  $4.11 \pm 0.227$  cm and heights of  $5.75 \pm 0.324$  m. The estimated aerial biomass was 34.87 t/ha, with 17.44 t/ha of carbon and 63.99 t/ha of CO<sub>2</sub>. Allometric models based on diameter, especially the third-degree polynomial ( $R^2 = 0.27$ ), showed greater accuracy in estimating stored CO<sub>2</sub>, while models based on height were less effective ( $R^2 < 0.07$ ). The study highlights the importance of *G. angustifolia* as a sustainable resource for carbon sequestration and restoration of degraded ecosystems, providing key data for its silvicultural management. It is recommended that more variables be included in future models to improve their accuracy and expand sampling. This research contributes to the knowledge on the early growth of bamboo and its role in climate change mitigation, relevant for conservation policies and sustainable use of natural resources.

Keywords: *Guadua angustifolia*, biomass, carbon, allometric, restoration.

## I. INTRODUCCIÓN

En todo el mundo, existen grandes bosques de bambú que, temporada tras temporada, han sido influenciados por la degradación resultante de las acciones humanas. A pesar de ser una de las especies y familias de plantas más numerosas, con una gran variedad de posibles aplicaciones, numerosas propiedades no se comprenden completamente aparte de los beneficios que brinda a los ecosistemas. En este escenario, las granjas de bambú, ya sea para el comercio o la recuperación del ecosistema, surgen como una opción beneficiosa para combatir el impacto climático y como un sustento para las personas que viven en lugares aislados.

En este contexto, aunque se encuentran amplias áreas de plantaciones de bambú, la información sobre su crecimiento y la acumulación de carbono es escasa, especialmente en nuestra región de la provincia de Leoncio Prado. Se ha demostrado que la *Guadua angustifolia* Kunth contribuye significativamente a la biomasa del suelo, lo que fomenta la presencia de fauna edáfica, incluyendo mamíferos pequeños, aves e insectos, entre otros. Por lo tanto, resulta crucial cuantificar la biomasa de las plantaciones de *G. angustifolia* y obtener datos confiables a diferentes edades. Además, es fundamental desarrollar modelos alométricos que permitan un cálculo rápido y preciso de la biomasa y la acumulación de carbono en plantaciones menores de 4 o 5 años, edad en la que la *G. angustifolia* alcanza su madurez. Siguiendo la línea de investigación sobre el monitoreo del crecimiento de *G. angustifolia*, surge la inquietud sobre: ¿Cuál será el crecimiento de una plantación establecida hace dos años en Tulumayo, Pueblo Nuevo, Huánuco, Perú?

Por lo tanto, la importancia de esta investigación radica en que el seguimiento del crecimiento de las plantaciones de *G. angustifolia* en Tulumayo y su provincia es fundamental para evaluar los incrementos en el número de cañas por mata, así como su altura y diámetro de caña. Esto es clave para calcular cuánta cantidad de carbono puede ser secuestrada o almacenada por hectárea. Con esta información, se pueden tomar decisiones más acertadas sobre el manejo silvicultural de la especie, además de ayudar a mitigar los efectos del cambio climático. También fomenta la recuperación de suelos degradados, la restauración de ecosistemas y la recuperación de servicios ecosistémicos, entre otros beneficios ambientales, sociales y económicos que ya se están reconociendo y aprovechando en otras regiones.

De manera que, la investigación está enfocada en investigadores, técnicos, profesionales independientes y, sobre todo, en los tomadores de decisiones, como gobernadores y alcaldes tanto provinciales como distritales. Esto es porque la recuperación de áreas degradadas, la restauración de ecosistemas y las plantaciones con fines comerciales son fundamentales para

hacer frente a los efectos del cambio climático. Por eso, estamos convencidos de que los resultados de esta investigación serán de gran utilidad para estos objetivos.

En consecuencia, dado que la *G. angustifolia* es famosa por su rápido crecimiento y su capacidad de generar continuamente nuevo material vegetativo, se sugiere que al monitorear el crecimiento en una plantación que se estableció hace dos años en Tulumayo, se observará un aumento significativo.

Objetivo general:

- Conocer el crecimiento en una plantación de *Guadua angustifolia* Kunth de dos años de establecido en Tulumayo, Pueblo Nuevo, Huánuco, Perú.

Objetivos específicos:

- Determinar las medidas de tendencia central y dispersión del diámetro, altura, número de brotes de *G. angustifolia*.
- Calcular la biomasa área, carbono almacenado y dióxido de carbono secuestrado en la plantación de *G. angustifolia*.
- Desarrollar un modelo alométrico para el cálculo del secuestro de dióxido de carbono en la plantación de *G. angustifolia*.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Marco teórico

#### 2.1.1. El bambú

El bambú es una de las asociaciones gregarias que se encuentran en el bosque mesofítico caducifolio, xerofítico caducifolio y húmedo siempre verde. A nivel mundial, los bambúes están representados por más de 1 250 especies, pertenecientes a 75 géneros de la subfamilia Bambusoideae, distribuidos en todos los continentes excepto Europa, y se encuentran principalmente en regiones tropicales, subtropicales, templadas y frías, desde el nivel del mar hasta los 4 000 msnm. Los bambúes pueden ser herbáceos o leñosos, con variedad de formas, colores y tamaños, y se caracterizan por su rápido crecimiento, alcanzando alturas superiores a 25 metros en pocos meses y madurando entre 4 y 5 años. Es crucial aplicar técnicas de manejo sostenible para su aprovechamiento, dada su naturaleza perenne (Ministerio de Agricultura [MINAG], 2010).

No obstante, la cordillera de los andes es el principal centro de diversificación de los bambúes leñosos, albergando el 33 % de las especies conocidas (MINAG, 2010). La diversidad de estos bambúes aumenta con la altitud, alcanzando su máxima concentración entre 2 000 y 3 000 msnm. Por debajo de los 1 000 msnm, aunque la diversidad disminuye, predomina el género *Arthrostylidium*, *Guadua* y *Rhipidocladum*. En altitudes superiores a 3 000 msnm, solo se encuentran especies de *Chusquea*, *Neurolepis* y *Aulonemia*. En América, las especies de *Guadua* son ampliamente utilizadas por comunidades entre 0 y 2 000 msnm, mientras que *Chusquea* y *Aulonemia* son preferidas en altitudes superiores a 2 000 msnm (MINAG, 2010).

#### 2.1.2. Plantaciones de *G. angustifolia*

La *G. angustifolia* es ampliamente reconocida por sus excepcionales propiedades constructivas, lo que la convierte en una de las especies más valiosas (González, 2005). Esta especie es nativa de Colombia, Venezuela y Ecuador, donde se han implementado planes de manejo sostenible para sus bambusales naturales y plantaciones. En Perú, aunque se han identificado poblaciones naturales en la región noreste, cerca de las fronteras con Ecuador y Colombia, el país depende significativamente de las importaciones ecuatorianas para satisfacer la demanda. Además, se han establecido pequeñas áreas de cultivo en regiones como Tumbes, Piura, Lambayeque, Selva Central, San Martín y el sur de Lima (González, 2005). Además, los bosques de bambú, tanto nativos como plantados, desempeñan un papel ecológico

crucial al servir como hábitat para especies endémicas y contribuir a la prevención de la erosión y la gestión sostenible de los recursos hídricos (Takahashi, 2016).

Asimismo, la *G. angustifolia* se clasifica dentro del orden Poales, la familia Poaceae y el género Guadua. Esta especie es destacada a nivel global por su importancia económica y ecológica. El género Guadua fue establecido en 1820 por Carl Sigismund Kunth, quien adoptó el término tradicionalmente utilizado por comunidades indígenas en Colombia y Ecuador. Además, Kunth realizó la descripción taxonómica formal de *G. angustifolia* en 1821, destacando sus características distintivas. En este contexto, *G. angustifolia* se distingue por sus propiedades mecánicas excepcionales y su naturaleza perenne (Araujo, 2015; Méndez, 2014):

División	: Magnoliophyta
Clase	: Liliopsida
Orden	: Poales
Familia	: Poaceae
Subfamilia	: Bambusoideae
Género	: Guadua
Especie	: <i>Guadua angustifolia</i> Kunth.

En consecuencia, el distrito de La Florida, en Cajamarca, es reconocido por su destacada experiencia en silvicultura de bambú en el Perú. En esta región, los guaduales se distribuyen en pequeños rodales que abarcan desde zonas bajas dominadas por cultivos de arroz hasta zonas medias y altas con rodales más extensos. Históricamente, la economía local dependía del cultivo de café, arroz y plátanos, pero la *Guadua angustifolia* ha surgido como una alternativa económica prometedora. Los culmos de esta especie destacan por su grosor notable (10-15 cm) y altura (hasta 20 m), con un promedio comercial de 15 m. Además, se observa una densidad de 3,000 culmos por hectárea, con excelente sanidad y ausencia de culmos secos, lo que refleja un manejo forestal adecuado que incluye prácticas de corte y entresaca selectiva (Castaño y Móstiga, 2018).

### **2.1.3. Crecimiento de plantaciones de *G. angustifolia***

La especie Guadua puede alcanzar alturas de hasta 30 metros y diámetros de hasta 25 centímetros (Castaño y Moreno, 2004). Esta planta es destacada por sus múltiples beneficios ambientales, incluyendo su rápido crecimiento y desarrollo, lo que le permite aportar entre 2 y 4 toneladas por hectárea de biomasa al suelo. Este aporte representa entre el 10 % y el 14 % del material vegetal total generado en un guadual, mejorando significativamente la textura y estructura del suelo (Herrera, 2005). Además, los bambúes pueden crecer hasta 1,2 metros por día, lo que evidencia su capacidad de regeneración acelerada (Takahashi, 2016). En

el caso de *G. angustifolia*, el crecimiento exponencial se inicia tras el desarrollo de varios hijuelos, lo que refuerza su potencial para la restauración ecológica y el manejo sostenible (Orozco et al., 2020).

#### **2.1.3.1. Incremento anual**

La evaluación de las tasas de crecimiento de especies en bosques manejados es clave para planificar los ciclos de aprovechamiento forestal y medir la efectividad de las prácticas silvícolas que se aplican (Quesada y Castillo, 2010). En este contexto, Añazco (2013) resalta las propiedades renovables y sostenibles de la guadua, subrayando su impresionante velocidad de crecimiento. Esta especie puede crecer entre 10 y 21 cm al día, llegando a alcanzar hasta 30 metros en solo seis meses, y está lista para ser cosechada en un lapso de cuatro a cinco años. Una de las características más notables del bambú es que su diámetro se mantiene constante desde la base, sin cambios a lo largo de su desarrollo, alcanzando un máximo de 25 cm en el caso de la guadua.

#### **2.1.4. Cálculo de biomasa aérea en bosques y bambú**

*G. angustifolia* produce en promedio 4,5 kg de biomasa por individuo a los siete años, con un 75 % concentrado en la biomasa aérea, que incluye hojas, ramas y culmos. Esta especie contribuye entre el 80,1 % y el 83 % de la capacidad total de fijación de carbono de la guadua. A diferencia de los árboles, el bambú no incrementa el diámetro de sus culmos después del primer año, pero su biomasa aumenta debido al reclutamiento constante de nuevos culmos con diámetros iniciales definidos, lo que favorece el almacenamiento de carbono. Aunque los culmos sobremaduros se deterioran y liberan carbono tras un período natural, la biomasa subterránea continúa creciendo, conservando gran parte del carbono capturado. Este mecanismo convierte al bambú en una alternativa más eficiente que los árboles para el almacenamiento de carbono (Camargo et al., 2010; Lobovikov, citado en Briceño et al., 2017).

De igual forma, el carbono almacenado en los bambúes está influenciado por procesos naturales como la fotosíntesis y la descomposición de la materia orgánica. Sin embargo, la eficacia de estos procesos depende en gran medida de factores ambientales, como el clima, la fertilidad del suelo, la densidad de la plantación y, especialmente, la edad de esta. Para cuantificar la biomasa aérea, se emplea un modelo matemático que permite estimar con precisión el potencial de secuestro de carbono en estas plantaciones (Aguirre y Gutiérrez, 2009).

$$Y = \alpha D^{\beta}$$

Dónde:

Y = Biomasa total (gr)

D = Diámetro (cm)

$\alpha$  y  $\beta$  = Parámetros a estimar

Por consiguiente, la aplicación de una transformación logarítmica mejora la precisión en la estimación de parámetros, permitiendo el uso de modelos de regresión lineal simple. Este método, basado en el análisis de regresión, facilita la identificación de relaciones significativas entre las variables (Aguirre y Gutiérrez, 2009).

$$\ln(Y) = \ln(\alpha) + \beta \ln(D)$$

Asimismo, la precisión en la estimación de la biomasa aérea se mejora ajustando el modelo matemático para evaluar de manera individual sus componentes, como ramas, hojas y culmos. Este enfoque facilita una cuantificación detallada y precisa de cada elemento de la biomasa aérea (Aguirre y Gutiérrez, 2009).

En consecuencia, la estimación de la biomasa aérea puede realizarse mediante dos enfoques principales: el método directo o destructivo, que implica la extracción y pesaje de árboles para calcular la biomasa, y el método indirecto o no destructivo, que utiliza modelos matemáticos basados en variables recogidas en campo. Este último enfoque permite una evaluación más sostenible y menos invasiva de los ecosistemas forestales (Schlegel, 2001).

#### **2.1.4.1. Método directo para el cálculo de biomasa**

El método de medición directa de la biomasa aérea se centra en evaluar componentes específicos como ramas, tallos y hojas dentro de un ecosistema particular. Aunque este enfoque requiere la destrucción de algunos árboles para obtener su peso seco, permite establecer relaciones funcionales sólidas entre la biomasa y variables que son más fáciles de medir, como el diámetro a la altura del pecho y la altura total. Estas relaciones son clave para desarrollar modelos predictivos que ayuden a estimar la biomasa en diferentes contextos ecológicos (Álvarez, 2008).

#### **2.1.4.2. Método indirecto para el cálculo de biomasa**

La estimación de la biomasa arbórea se puede llevar a cabo utilizando ecuaciones y modelos matemáticos que se basan en análisis de regresión. Estos modelos relacionan variables como el diámetro a la altura del pecho, la altura comercial y total, el crecimiento en diámetro, el área basal y la densidad específica de la madera. Otra opción es calcular la biomasa a partir del volumen del tronco, empleando la densidad básica de la madera para obtener el peso seco y aplicando un factor de expansión para determinar el peso total del árbol. Este método permite una evaluación precisa y eficiente de la biomasa forestal (Fonseca et al., 2017).

### 2.1.5. Modelos alométricos

Un modelo matemático se basa en ecuaciones algebraicas que conectan lógicamente varias variables, lo que permite evaluar de manera rigurosa hipótesis y cuantificar fenómenos de estudio. Estas expresiones formales se emplean para analizar datos observados y comprobar su coherencia con las predicciones teóricas, además de calcular estadísticas relevantes. En el caso de los árboles, se pueden modelar las relaciones entre altura y diámetro utilizando funciones tanto lineales como no lineales. Sin embargo, la singularidad de la guadua exige el desarrollo de modelos específicos que reflejen sus características únicas. Asimismo, la longitud del culmo puede preverse de manera efectiva a través de modelos de regresión, aprovechando la similitud en diámetro y altura entre los culmos de un mismo guadua, lo que facilita una mejor comprensión y gestión de estos ecosistemas (Moscovich, 2004; Picard et al., 2012; Camargo, 2008).

De igual forma, el uso de modelos matemáticos es la clave para comprender la dinámica y las condiciones del Guadua, así como los servicios de los ecosistemas y los bienes que proporcionan. Estos modelos evitan mediciones directas complejas, facilitando la información informada que promueve la gestión y la conservación sostenible de estos ecosistemas. Este enfoque es crucial para la optimización de la gestión forestal y garantiza su longevidad. En este contexto, indicadores como la proporción de biomasa tallo/raíz y el índice de calidad propuesto por Dickson et al. (1960) son ampliamente reconocidos como criterios adecuados para predecir el rendimiento de las plantas en el terreno. Sin embargo, determinar estos índices requiere una evaluación precisa de la biomasa del aire, la raíz y el número total, lo que implica modelos destructivos en cada ciclo de producción. Por lo tanto, el desarrollo de métodos no perturbadores es crucial para evaluar el rendimiento de la planta sin amenazar su integridad (Viáfara, 2013; Grossnickle, 2012; Tsakalidimi et al., 2013; Stape et al., 2001).

Por consiguiente, el muestreo destructivo tiene una limitación importante: no permite hacer mediciones repetidas en el mismo individuo a lo largo del tiempo. Una alternativa interesante es el uso de relaciones alométricas, que conectan variables morfológicas como el diámetro del cuello de la raíz y la altura de la planta, o variables derivadas como  $D^2$  o  $D^2H$ . Estas ecuaciones alométricas describen una relación curva entre la biomasa y las dimensiones de la planta, ofreciendo un balance ideal entre precisión y la cantidad de datos necesarios. Este enfoque es especialmente útil para estimar la biomasa sin causar daño a las plantas, lo que lo convierte en una herramienta clave para el monitoreo continuo y sostenible

de los ecosistemas vegetales (Bloomberg et al., 2008; Ruehle et al., 1984; Geudens et al., 2004; Schmidt et al., 2009; Ter-Mikaelian y Korzukhin, 1997).

## 2.2. Estado del arte

### 2.2.1. A nivel internacional

Rojas (2009), descubrió que el bosque en cuestión tiene una capacidad de almacenamiento de carbono de 110,16 megagramos por hectárea ( $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). Además, el investigador desarrolló ecuaciones matemáticas que muestran una relación significativa entre el diámetro de la *G. angustifolia* y su biomasa aérea, logrando un alto grado de correlación y un nivel de confianza del 95 %. Estos hallazgos subrayan la relevancia de su estudio para la gestión sostenible de los bosques y para potenciar su papel como sumideros de carbono.

Návar et al. (2013), demostraron que las ecuaciones alométricas desarrolladas localmente proporcionan un mejor ajuste en comparación con los modelos calibrados en la misma región o las ecuaciones formuladas ex situ. Como resultado, los autores recomiendan implementar el muestreo destructivo de árboles para desarrollar o adaptar ecuaciones alométricas directamente en el campo. Específicamente para los bosques tropicales secos, sugieren priorizar la recolección de árboles con los mayores diámetros entre las especies dominantes, ya que la mayor variabilidad en la ecuación alométrica se produce en los individuos con mayores diámetros normales. Este enfoque contribuye a mejorar la precisión de la estimación de la biomasa y apoya la gestión sostenible de los bosques.

Darabant et al. (2014), encontraron diferencias notables en la producción de biomasa de las plantaciones de bambú en el este de Tailandia, influenciadas por la calidad del sitio y las técnicas de manejo utilizadas. Según ellos, una gestión intensiva en áreas con alta productividad puede llevar a una mayor producción de biomasa, mientras que en terrenos menos favorables y sin un manejo adecuado, los rendimientos son bastante bajos. También mencionaron que los entrenudos, las partes inferiores de los tallos y los tallos jóvenes tienen altos niveles de humedad, lo que disminuye su eficiencia energética. Aunque el rendimiento de biomasa es similar entre diferentes especies, *D. membranaceus* se destaca por tener un menor contenido de humedad y un mayor valor calorífico en comparación con *B. beecheyana*, lo que lo convierte en una opción más atractiva para la producción de energía en condiciones ideales. En este sentido, los investigadores subrayan la necesidad de buscar estrategias que mejoren el uso energético de las partes con alto contenido de humedad.

Sohel et al. (2015), destacaron el papel vital de las especies de bambú en la captura del dióxido de carbono. Los autores asumen que el comercio de créditos de carbono en el mercado de créditos, a través de proyectos MDL, ofrece un potencial importante de

ingresos. Su investigación dedicó atención al almacenamiento de carbono orgánico en diferentes partes del bambú, a saber, culmo, ramas lagunas etc. No obstante, no se resolvió el problema asociado con otros factores importantes como caída de hojarasca, microorganismos, etc. Tal como calcula el carbono orgánico en las partes del bambú es un proceso complicado y a su vez dependiente del tiempo, los autores coronan que el desarrollo de la metodología en esta cuestión será crítico para el análisis futuro de reservas de carbono orgánico en *Bambusa vulgaris*.

Molina y Montealegre (2018), observaron una variabilidad notable en el diámetro a la altura del pecho (DAP) de *G. angustifolia*, con medidas que van desde 5,66 cm hasta 28,2 cm, y un promedio de 9,91 cm. Además, los autores observaron que la longitud del canuto varía entre 4,0 cm y 46,7 cm, con un promedio de 26,75 cm. En cuanto a la circunferencia, esta fluctúa entre 12 cm y 52 cm, con un valor medio de 26,99 cm. Respecto a las alturas, la comercial se sitúa entre 4,1 m y 20,8 m, con un promedio de 9,27 m, mientras que la del fuste varía de 2,46 m a 22 m, con una media de 7,24 m. Además, la longitud total de los tallos muestra una variación de 9,5 m a 38,4 m, con un promedio de 16,52 m, y el espesor de la madera oscila entre 0,2 cm y 2,4 cm, con un promedio de 0,98 cm. Los investigadores también reportaron una biomasa aérea promedio de 82 toneladas por hectárea en los rodales estudiados, lo que subraya el potencial de esta especie para la captura de carbono y su importancia en la gestión forestal sostenible.

Pati et al. (2022), recomiendan utilizar modelos específicos para cada especie como estrategia más eficaz para estimar la biomasa. Sin embargo, cuando no se dispone de ecuaciones alométricas específicas, los autores sugieren que los modelos generales que consideran variables como la altura y el diámetro pueden servir como alternativa viable sin obstaculizar la regeneración. También proponen que un modelo general que incorpore la altura y el peso específico de la madera (WSG) como covariable puede ayudar a estimar la biomasa en diversas condiciones climáticas, lo que a su vez ayuda a mitigar el impacto del clima en las ecuaciones de biomasa y mejora la precisión de las estimaciones.

Kaam et al. (2023), mostraron que la estimación de la biomasa del culmo de bambú es más precisa cuando el modelo incluye variables como la edad, el diámetro y la altura. Además, los autores señalaron que factores como el número de culmos por mata, la circunferencia y el diámetro medio son clave en las ecuaciones alométricas que se aplican a las matas. Sin embargo, el modelo que se diseñó para estimar la biomasa de las matas mostró un mejor ajuste en comparación con aquellos que se enfocan solo en los culmos. En cuanto a la densidad y las reservas de carbono, los resultados revelaron una alta densidad por hectárea en

la AEZ5 de Camerún, con reservas estimadas en 61,65 t C ha<sup>-1</sup>, una cifra que supera la de muchas otras regiones del país. Los investigadores enfatizan que, a pesar de ser a menudo subestimados, los bosques de bambú merecen más atención en las estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero, gracias a su impresionante capacidad para capturar carbono.

Abebe et al. (2023), desarrollaron modelos alométricos específicos para el bosque de bambú *Oldeania alpina*, analizando cómo se relaciona la biomasa aérea total con variables dendrométricas como el diámetro y la altura. Los autores encontraron que el diámetro es un predictor más preciso que la altura. Además, concluyeron que el modelo que se basa únicamente en el diámetro a la altura del pecho (DAP) (modelo 1) supera a los que solo utilizan la altura o una combinación de altura y DAP, ya que presenta un coeficiente de determinación ajustado más alto, un menor error estándar residual y valores más bajos en el criterio de información de Akaike. La validación a través del RMSE confirmó que el modelo 1 ofrece el mejor ajuste, con un valor de 0,258, lo que lo convierte en una herramienta estadísticamente robusta para estimar el almacenamiento de biomasa y las reservas de carbono en los bosques de *O. alpina* en Etiopía. Este enfoque es fundamental para la gestión sostenible y la conservación de estos ecosistemas.

Oberle et al. (2023), señalan que la eficacia de los modelos multinivel y de las ecuaciones alométricas personalizadas depende realmente de los objetivos de investigación y restauración. En bosques boreales y templados bien estudiados, los modelos existentes proporcionan grandes resultados para caracterizar la estructura de la masa y la dinámica del carbono. Sin embargo, en las zonas menos estudiadas, donde hay una gran diversidad de especies arbóreas y una necesidad urgente de gestionar las especies invasoras al tiempo que se maximiza el almacenamiento de carbono, son esenciales metodologías más precisas. Aunque la teledetección podría ofrecer la resolución necesaria para el seguimiento detallado de la restauración forestal en el futuro, como sugieren González de Tanago et al. (2018), los autores destacan que los estudios que combinan tallos con ecuaciones alométricas multinivel personalizadas pueden aprovechar el muestreo entre especies para mejorar las proyecciones de crecimiento y tamaño. Este enfoque es crucial para optimizar la restauración y la gestión forestal en ecosistemas ricos en biodiversidad.

López (2023), identificó que hay una relación entre la longitud total y el diámetro a la altura del entrenudo, con un coeficiente de determinación de 0,4. Esto sugiere que estas dos variables están conectadas. Gracias a esto, se pueden utilizar modelos ajustados para predecir la longitud del culmo en diferentes guadales. En su investigación, el modelo  $LT = 26,816 * 0,923(1/DEAP)$  fue el que mejor explicó los parámetros que se evaluaron. Además,

López notó que las variables de área basal y DEAP tienen una relación bastante débil con la biomasa, con un  $R^2$  promedio de 0,10. Los modelos que mejor describieron estas relaciones fueron: para la biomasa en función del DEAP,  $B = 0,126 * DEAP^{0,304}$ , y para la biomasa en función del área basal,  $B = 0,0482 * G - 5,277 * G$ , ambos con alta significancia. Estos hallazgos son clave para desarrollar estrategias de gestión y monitoreo más precisas de los guaduales.

### 2.2.2. A nivel nacional

García y Del Castillo (2013), descubrieron que los picales de la Comunidad Nativa Bufe Pozo en Ucayali almacenan una cantidad notable de carbono. Los investigadores analizaron variables como el diámetro a la altura del pecho, la altura total, el carbono orgánico del suelo, la densidad aparente y la estructura del bosque, observando la abundancia y dominancia de las especies. En total, la comunidad contenía 242,66 toneladas de carbono por hectárea, siendo el carbono orgánico del suelo el principal reservorio con 120,55 t C ha<sup>-1</sup>, seguido por la biomasa y la necromasa. La especie Paca fue la que más aportó a la biomasa, con 66,47 t C ha<sup>-1</sup>, y se registró una densidad de 1,660 individuos por hectárea. Estos hallazgos subrayan la relevancia de los picales en la captura de carbono y su potencial para ayudar a mitigar el cambio climático.

Oblitas (2022), encontró que la dendrometría de *Guadua angustifolia* presenta un peso promedio de 27,77 kg, un diámetro basal de 8,94 cm y una altura de 11,71 m, datos que se obtuvieron a través de métodos destructivos. Además, desarrolló diez modelos alométricos: cinco basados en el diámetro basal y cinco en la altura, con el fin de estimar la captura de CO<sub>2</sub> en plantas de alrededor de 4 años. El modelo más preciso resultó ser una ecuación alométrica de tercer grado, utilizando el diámetro basal como variable independiente, que se expresa como  $CO_2 = -0.1164D^3 + 3.7850D^2 - 35,1011D + 113,6483$ ; con un  $R^2$  ajustado de 0,81. Esta ecuación es especialmente valiosa porque facilita y asegura la medición del diámetro basal en el campo, lo que la convierte en una herramienta ideal para realizar estimaciones prácticas de captura de carbono en plantaciones de *G. angustifolia*.

Núñez y Ramírez (2022), descubrieron que *G. angustifolia* tiene un impresionante potencial de captura de carbono en su biomasa aérea, alcanzando las 36,977 toneladas de carbono por hectárea. En el suelo, este potencial es de 33,697 toneladas de carbono por hectárea, y en la necromasa, se registra un 0,367 toneladas de carbono por hectárea. En total, el potencial de captura de carbono suma 71,041 toneladas de carbono por hectárea. Los autores señalaron que la biomasa aérea tiene un mayor potencial de captura de carbono en comparación con el suelo y la necromasa. Este estudio es clave para la conservación y mejora

de las reservas de carbono en plantaciones de bambú, lo que contribuye de manera significativa a los esfuerzos ambientales y sociales para combatir el cambio climático.

### 2.2.3. A nivel local

Torres (2009), determinó que la biomasa promedio de los componentes del tronco, las ramas y las hojas de *Guazuma crinita* cambia notablemente a medida que la plantación envejece. Los valores de biomasa promedio por árbol van en aumento con el tiempo, comenzando en 2,56 kg en el primer año, subiendo a 18,38 kg en el segundo, 45,9 kg en el tercero, 75,18 kg en el cuarto y alcanzando los 140,06 kg en el quinto año. Además, tanto el contenido de carbono como la captura de CO<sub>2</sub> también crecen con la edad, comenzando en 1,23 kg y 4,49 kg en el primer año, respectivamente, y llegando a 66,82 kg y 244,99 kg en el quinto año. Estos hallazgos están respaldados por ecuaciones alométricas que vinculan el diámetro a la altura del pecho (dap) con la biomasa aérea total y la captura de CO<sub>2</sub>, expresadas como  $0,048 * dap^{2x8}$  y  $0,0432 * (dap)^2 * h$ , respectivamente. Estas ecuaciones son fundamentales para la gestión sostenible de los bosques y para estimar con precisión la captura de carbono.

Salazar (2012), encontró diferencias notables en la cantidad de biomasa aérea entre los bosques primarios que aún quedan, los pastizales y las plantaciones de palma aceitera, con valores de 273,5 t/ha, 44,3 t/ha y 33,9 t/ha, respectivamente. También notó que las reservas de carbono aéreo están directamente vinculadas al tipo de uso del suelo. Los bosques primarios mostraron las mayores reservas de carbono, alcanzando 135,5 t/ha, seguidos por los pastizales con 21,4 t/ha, y las plantaciones de palma aceitera con 14,7 t/ha. Estos hallazgos destacan la relevancia de los bosques primarios en la captura de carbono y subrayan la necesidad de proteger estos ecosistemas para ayudar a combatir el cambio climático.

Bovis (2020), descubrió que las cañas de guadua en el Fundo Agrícola de la Facultad de Agronomía alcanzan su altura máxima en un promedio de 7,45 meses después de que brotan, con un rango que varía entre 5,37 y 8,63 meses. También encontró una relación significativa entre la altura total de las cañas y el tiempo que ha pasado desde que emergieron los brotes, lo que le permitió crear un modelo matemático bastante preciso. Este modelo, que se expresa como  $Y = -3E-06*(tiempo)^3 + 0,0014*(tiempo)^2 - 0,0496*(tiempo) + 0,8023$ , tiene un coeficiente de determinación muy cercano a uno, lo que sugiere que es muy efectivo para predecir el crecimiento de las cañas de guadua. Este modelo es clave para la gestión y planificación de las plantaciones de guadua, ya que ayuda a optimizar su manejo y cosecha.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

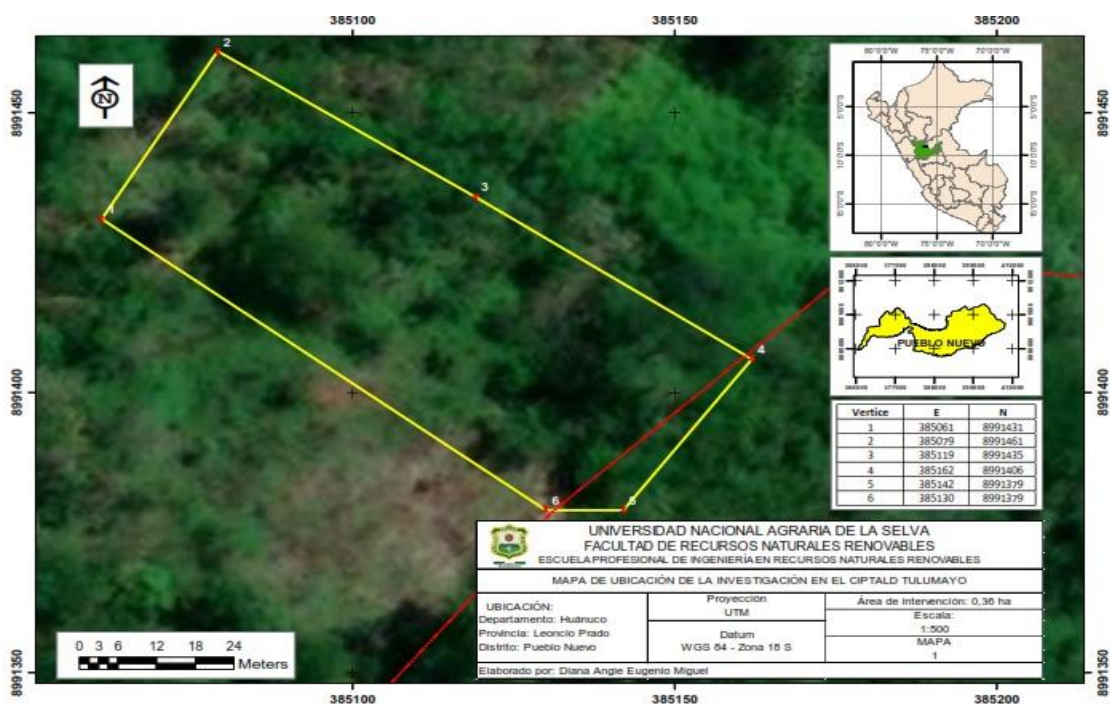
La investigación se llevó a cabo en el Centro de Investigación y Producción Tulumayo, Anexo Divisoria y Puerto Súngaro (CIPTALD), que pertenece a la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Este centro se encuentra ubicado aproximadamente a 26 km de la ciudad de Tingo María, en dirección a Pueblo Nuevo.

##### 3.1.1. Ubicación geográfica y política

El área se encuentra ubicada en las coordenadas UTM, con su vértice principal en 385142 E y 8991379 N (Datum WGS 84, UTM). Políticamente, el área está situada dentro del distrito de Pueblo Nuevo, en la provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco (Tabla 1) (Figura1).

**Tabla 1.** Coordenadas del polígono del área de investigación.

Puntos	E	N
1	385061	8991431
2	385079	8991461
3	385119	8991435
4	385162	8991406
5	385142	8991379
6	385130	8991379



**Figura 1.** Mapa de ubicación del área de investigación.

### **3.1.2. Formación ecológica**

Según la clasificación de zonas de vida y el diagrama bioclimático que propuso Holdridge en 1986, el distrito de Pueblo Nuevo está ubicado en una formación de bosque muy húmedo tropical (bmh-T). Además, si miramos la clasificación de las regiones naturales del Perú, esta área se identifica con la región conocida como Selva Alta o Rupa Rupa.

### **3.1.3. Condiciones climáticas**

La Ciudad del distrito de Pueblo Nuevo tiene un clima tropical cálido con temperaturas promedio entre 17 °C y 32 °C La humedad relativa promedio de 87 %, mientras que el nivel anual de precipitación ronda los 2 500 mm. debido a la alta condición tropical se mantienen los climas bajo estas condiciones durante todo el año; hay una alta persistencia del calor (Estación meteorológica UNAS - Tulumayo, 2022).

## **3.2. Material y métodos**

### **3.2.1. Materiales y equipos**

Los materiales que se utilizaron en la investigación son las siguientes: cintas métricas de 20 metros; plumones indelebles; cinta de agua; cinta masking tape; tablero de madera; formatos para la recolección de datos de campo; lapiceros; bolsas ziploc; mantas; costales; bolas de papel; machete; tijera de mano; bolsa de plástico; un par de manitas, entre otros. Los equipos trabajados fueron el siguiente: vernier digital; una balanza gramera para 5 kg; romanas de 100 kg; GPS, clinómetro; cámara digital; motosierra pequeña y otros dispositivos requeridos para los trabajos de campo; además de un ordenador para el cómputo se los datos en gabinete.

### **3.2.2. Metodología**

#### **3.2.2.1. Desarrollo y técnica de recolección de información para la tesis**

Para el desarrollo de la investigación, se recopiló toda la información relevante del lugar, incluyendo la cartografía, con la cual se elaboró un mapa base. Este mapa permitió planificar la logística para la recolección de datos en campo en la parcela de dos años de *G. angustifolia*. Además, fue necesario realizar un reconocimiento del área, durante el cual se ubicaron los vértices del área de investigación. En cuanto a las técnicas de recolección de información, se utilizaron formatos de campo preestablecidos de acuerdo con las variables del estudio, empleando la técnica de observación.

### 3.2.2.2. Medidas de tendencia central y de dispersión del diámetro, altura, número de brotes de *G. angustifolia*

Con la información recopilada sobre el diámetro, la altura, las hojas, las ramas y las cañas para calcular la biomasa de la plantación, se establecieron los parámetros estadísticos descriptivos. Esto incluye tanto las medidas de tendencia central como las de dispersión. Para llevar a cabo este análisis, primero organizamos los datos en un archivo de Excel y luego los procesamos con el software gratuito Infostat, lo que nos permitió crear cuadros y gráficos descriptivos.

### 3.2.2.3. Biomasa aérea, carbono almacenado y dióxido de carbono secuestrado en la plantación de *G. angustifolia*

Para el desarrollo de este objetivo, se seleccionó el método destructivo, considerando que el estudio contempló la realización de una poda y raleo en la plantación de *G. angustifolia*. Esta plantación estaba compuesta por 112 matas distribuidas en un área aproximada de 0,36 ha. De la población total, se seleccionó una muestra representativa de 20 matas. El tamaño muestral se determinó mediante el uso de la siguiente ecuación estadística estándar:

$$n = \frac{N Z^2 S^2}{(N - 1)E^2 + Z^2 S^2}$$

Dónde:

- z = Nivel de confianza (correspondiente con la tabla de valores de Z)
- S<sup>2</sup> = Variancia obtenida de revisión bibliográfica o muestra piloto (0,3)
- N = Tamaño del universo (se conoce puesto que es finito)
- E = Error de estimación máximo aceptado (25%)
- n = Tamaño de la muestra

Para determinar la biomasa aérea, como resultado de la poda y raleo, se separaron las cañas, ramas y hojas de las matas seleccionadas con el fin de obtener datos sobre la materia verde. Posteriormente, se tomó una muestra representativa para su análisis en laboratorio. Con los datos recopilados en campo, se procedió a calcular la biomasa verde o húmeda, es decir, el peso total de las ramas, hojas y la caña, utilizando la siguiente expresión matemática para el cálculo:

$$BaH = BcH + BrH + BhH$$

Dónde:

BaH = Biomasa aérea húmeda

BcH = Biomasa de culmo húmeda

BrH = Biomasa de ramas húmeda

BhH = Biomasa de hojas húmeda

Para determinar el contenido de materia seca, las muestras pasaron por un proceso de deshidratación en una estufa del Laboratorio de Semillas de la UNAS. Se mantuvieron a una temperatura controlada hasta que alcanzaron un peso constante, asegurando así que se eliminara por completo la humedad residual. El contenido de humedad (CH) se calculó utilizando la ecuación estandarizada propuesta por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC, 2007), que relaciona el peso seco final con el peso inicial de la muestra:

$$CH = \frac{m - m_o}{m_o} \times 100$$

Dónde:

CH = Contenido de humedad de la probeta en porcentaje

m = Masa de la probeta antes del secado en gramos

m<sub>o</sub> = Masa de la probeta después del secado en gramos

Para calcular el peso de la biomasa seca (BS), se utilizó la ecuación estandarizada que propuso Márquez, tal como se menciona en el trabajo de Arango y Camargo (2010). Esta fórmula establece una relación entre el contenido de humedad (CH) y el peso fresco de las muestras, lo que nos permite determinar la biomasa seca de forma precisa:

$$BS = BH - (BH * CH)$$

Dónde:

BS = Biomasa seca (culmo, ramas y hojas)

BH = Biomasa húmeda

CH = Contenido de humedad

Con la información que obtuvimos en el laboratorio, calculamos la cantidad de dióxido de carbono almacenado. Para ello, utilizamos la relación sugerida por el IPCC, que indica que la biomasa seca se traduce en un peso de carbono almacenado equivalente a 0,5, lo que significa que representa el 50% de la biomasa que obtuvimos:

$$CO_2 = \text{Peso seco de C almacenado} * 3,67$$

Dónde:

CO<sub>2</sub> = Dióxido de carbono almacenado en la planta de Guadua en kg

C almacenado = Carbono almacenado en la planta de guadua en kg

3,67 = Relación entre el peso molecular de carbono y el dióxido de carbono

#### **3.2.2.4. Modelo alométrico para el cálculo de secuestro de dióxido de carbono en la plantación de *G. angustifolia***

Para entender mejor las relaciones entre las variables, se llevó a cabo un procedimiento de regresión multivariante utilizando el método de mínimos cuadrados, tal como lo describe Oblitas (2022). Los datos de campo, que ya habían sido tabulados, se procesaron con el software Excel 2022 e Infostat. El objetivo era crear diferentes tipos de modelos de regresión: lineales, potenciales, exponenciales, polinómicos de segundo grado y polinómicos de tercer grado. Para evaluar qué tan adecuados eran cada uno de estos modelos, se calculó el coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>), una métrica estadística que mide cuánto de la variabilidad en la variable dependiente (dióxido de carbono almacenado) puede ser explicada por las variables independientes (diámetro basal y altura del culmo). Después, se realizó un análisis de residuos para cada modelo, cuyos resultados se organizaron en tablas comparativas. La dispersión de estos residuos se representó gráficamente, lo que permitió visualizar la distribución de los errores y validar los supuestos de homocedasticidad y linealidad que son fundamentales en los modelos de regresión. Este enfoque metodológico garantiza que se seleccione el modelo más adecuado, priorizando aquellos que tienen menor varianza residual y una mayor capacidad predictiva.

#### **3.2.2.5. Tipo y diseño de investigación**

La investigación se basó en un enfoque hipotético-deductivo, que es aplicado, descriptivo-correlacional y longitudinal. Este enfoque se apoya teóricamente en las contribuciones de Mejía (2005), Hernández et al. (2006), Arias (2012), Valderrama (2013), Hernández et al. (2014) y Arias y Covinos (2021). Este tipo de investigación permite combinar la formulación de hipótesis con su verificación empírica, siguiendo el método científico que busca establecer relaciones entre variables y describir tendencias a lo largo del tiempo.

### 3.2.2.6. Población

Fueron 112 matas de bambú guadua de dos años de establecido que cubren un área aproximada de 0,36 ha.

### 3.2.2.7. Muestras

Para llevar a cabo los cálculos de regresión y definir el modelo alométrico, se eligieron 20 muestras representativas de la población. Estas muestras tenían una cantidad uniforme de cañas maduras y brotes en el momento del raleo, que fue cuando se realizaron las mediciones y se recogieron las muestras para el laboratorio.

### 3.2.2.8. Variables de la investigación

**Tabla 2.** Variable e indicadores.

Variable	Indicadores	Subindicadores
Monitoreo del crecimiento de <i>G. angustifolia</i>	a. <i>Incremento</i>	a) <i>Diámetro de culmo</i> b) <i>Área basal</i> c) <i>Tiempo (6 meses)</i> d) <i>Altura total</i> e) <i>Volumen</i>
	b. <i>Biomasa aérea</i>	a) <i>Biomasa aérea húmeda (culmo, ramas y hojas)</i> b) <i>Biomasa aérea seca (culmo, ramas y hojas)</i> c) <i>Contenido de humedad</i>
	c. <i>CO<sub>2</sub> almacenado</i>	a) <i>Biomasa seca</i> b) <i>Carbono almacenado</i>
	d. <i>Modelo alométrico</i>	a) <i>Regresión lineal, potencial, exponencial, polinómica de segundo grado y polinómica de tercer grado</i> b) <i>Coefficiente de determinación (R<sup>2</sup>)</i>

### 3.2.2.9. Técnicas para la colecta de información de campo

Para recolectar los datos, se utilizaron protocolos estandarizados que incluían la medición del diámetro, la altura y el número de brotes en las cañas. En el método destructivo, se pesaron secciones frescas y se secaron submuestras de 500 g para obtener el peso seco. Además, se llevó a cabo una observación directa sistemática para asegurar la precisión.

### 3.2.2.10. Evaluación estadística

La organización y limpieza de la base de datos fueron fundamentales antes de llevar a cabo el análisis estadístico. Los resultados se presentaron en tablas y gráficos para que fueran más fáciles de interpretar. La verificación de la hipótesis se llevó a cabo utilizando una prueba t de Student, con un intervalo de confianza del 95% ( $\alpha = 0,05$ ), lo que significa que hay un 5% de probabilidad de cometer un error tipo I.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Medidas de tendencia central y medidas de dispersión del diámetro, altura, número de brotes de *G. angustifolia*

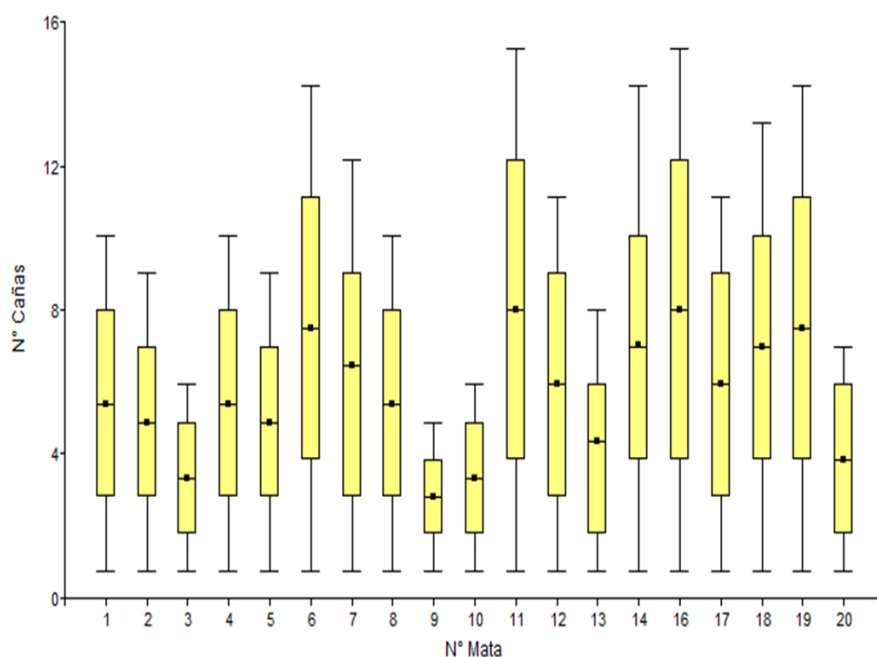
El número de cañas por mata de *G. angustifolia* a dos años presentan una media de  $6,21 \pm 0,495$ ; el diámetro presento una media del  $4,11 \pm 0,227$  cm y la altura una media del  $5,75 \pm 0,324$  m. Además, existe una alta variabilidad en el número de cañas (CV=59%) comparado con el diámetro y altura. De igual manera, la moda indica que algunas plantas tienen características significativamente menores en comparación con el promedio (por ejemplo, solo una caña o diámetros más pequeños). Asimismo, los límites superior e inferior sugieren que las medidas están bastante concentradas cerca del promedio, especialmente para el diámetro y altura. Finalmente, los resultados son confiables en nuestra investigación debido a que el E% encontrado es inferior al 10 %, frente al planteado para el cálculo de muestras del 25 %, indicándonos que el tamaños de muestra fue el adecuado. Al respecto, Molina y Montealegre (2018) observaron variabilidad en el diámetro de las cañas de 5,66 a 28,2 cm, con promedios de 9,91 cm, mientras que la longitud total de las cañas de entre 9,5 a 38,4 m.

Del mismo modo, para una plantación de cuatro años de *G. angustifolia*, Oblitas (2022) encontró un diámetro de 8,94 cm y 11,71 m de altura. No existe comparación con nuestros resultados debido a que cada vez en una mata de *G. angustifolia* salen cañas más gruesas y que alcanzan alturas mayores progresivamente. En resumen, conforme adquiera mayor edad la plantación objeto de estudio, se encontrarán mayores diámetros y altura de cañas (Tabla 3).

**Tabla 3.** Valores estadísticos del número de cañas, diámetro y altura de *G. angustifolia*.

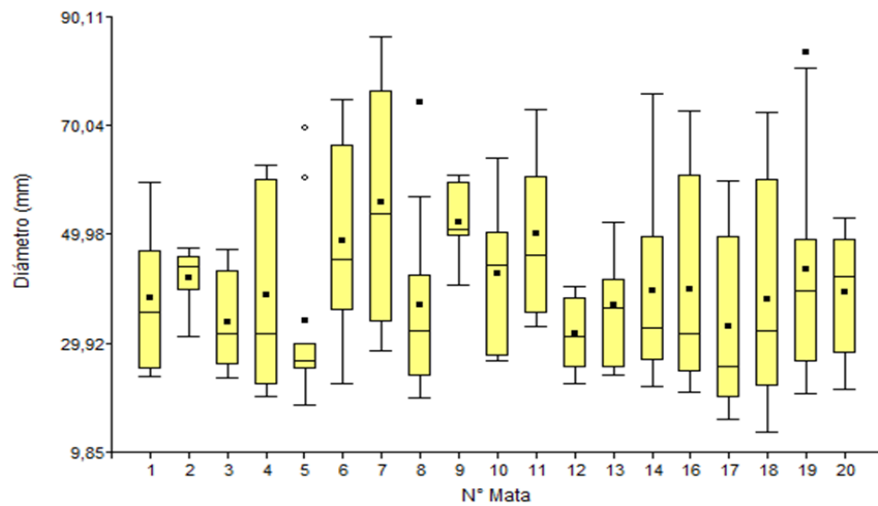
Valor estadístico	N° Cañas	Diámetro (mm)	Altura caña (m)
$\bar{x}$	6,21	4,11	5,75
Mediana	6	4	6
Moda	1,00	2,54	3,00
$S^2$	13,47	2,83	5,78
S	3,67	1,68	2,40
CV	59,12	40,96	41,81
Ls	6,70	4,33	6,07
Li	5,71	3,88	5,42
E %	7,98	5,53	5,64

Cada caja y bigote corresponde a una mata específica (1 a 20), observándose, una alta variabilidad en el número de cañas entre las matas, teniendo algunas, rangos amplios (e.g., mata 11 y 17), mientras que otras tienen rangos más estrechos (e.g., mata 9). Asimismo, la mediana varía considerablemente entre matas, lo que indica diferencias en el desarrollo promedio de las cañas por planta. No obstante, las matas con bigotes largos (e.g., mata 12 y 19) muestran mayor dispersión en el número de cañas, mientras que las matas con bigotes cortos tienen datos más concentrados. En consecuencia, la plantación presenta una distribución heterogénea del número de cañas por mata, con algunas matas mostrando mayor uniformidad y otras una amplia dispersión. Finalmente, esta información puede ser útil para identificar patrones de crecimiento, evaluar condiciones específicas de cada mata, y optimizar prácticas agronómicas (Figura 2).



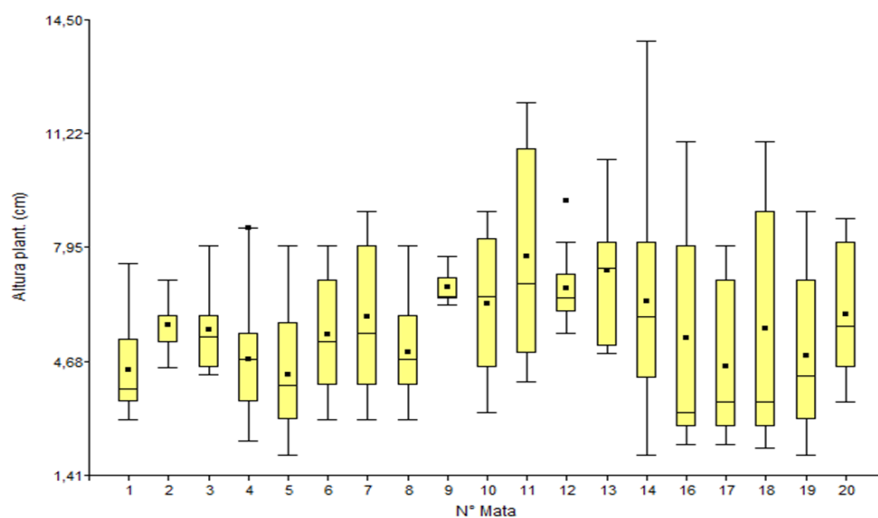
**Figura 2.** Cajas y bigotes (boxplot) de la distribución del número de cañas por mata.

Por su parte, en la variabilidad del diámetro de cañas entre matas, se reconocieron patrones característicos de su distribución: la mata 7 mostró una gran dispersión al comparar sus valores con otras matas, dispersión medida por el rango y los valores atípicos; mientras que las matas 4 y 12 presentaron una menor dispersión. Las medidas de tendencia central, que son las líneas en cada caja, dejaron en evidencia dichas diferencias entre las distribuciones de diámetros. Asimismo, los valores atípicos, representados como puntos fuera de bigotes, se identifican en matas como la 7 y la 19, sugiriendo la presencia de diámetros extremos de este atributo. (Figura 3).



**Figura 3.** Cajas y bigotes (boxplot) de la distribución del diámetro de cañas por mata.

La altura de cañas en metros muestra una variabilidad entre matas, como la 13 y la 16 que tienen una gran dispersión en las alturas, con rangos amplios y varios valores extremos. Mientras que las matas 3 y la 11 tienen cajas pequeñas, indicando menor variabilidad en las alturas. Las medianas, muestra la línea dentro de cada caja diferencias en las alturas centrales entre las matas. Por ejemplo, la mediana de la mata 13 es más alta que la mayoría. Los Outliers, algunas matas presentan puntos fuera de los bigotes, como las matas 13 y 16, lo que indica valores extremos en sus alturas. Asimismo, la figura refleja diferencias significativas en la distribución de alturas entre las distintas matas. Algunas presentan mayor uniformidad (como la mata 3), mientras otras son más heterogéneas (como la mata 13). Los outliers son importantes para identificar posibles anomalías o variaciones extremas en ciertas matas (Figura 4).



**Figura 4.** Cajas y bigotes (boxplot) de la distribución de altura de cañas por mata.

Los brotes más altos (>3 m) presentan mayor número promedio, mediana y moda de brotes, con menor variabilidad relativa en comparación con las otras categorías. Esto indica que la altura está positivamente relacionada con la producción de brotes en *G. angustifolia*. Las categorías <1 m y 1–3 m muestran mayor dispersión y menor capacidad para generar brotes. El E% muestra que las categorías <1 m y 1 m–3 m tienen errores relativos similares (~51), mientras que >3 m tiene un error menor (34,26), lo que sugiere que el promedio es más confiable para esta categoría (Tabla 4).

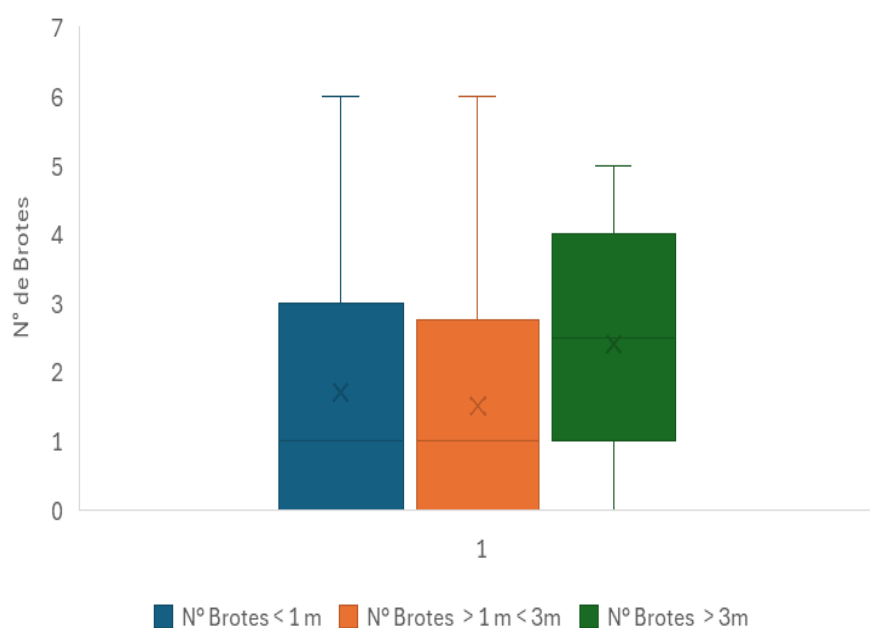
**Tabla 4.** Valores estadísticos del número de brotes de *G. angustifolia*.

<b>Valor estadístico</b>	<b>N° Brotes &lt; 1 m</b>	<b>N° Brotes &gt; 1 m &lt; 3m</b>	<b>N° Brotes &gt; 3m</b>
$\bar{x}$	1,7	1,5	2,4
Mediana	1	1	2,5
Moda	0	1	3
$S^2$	3,48	2,89	3,09
S	1,87	1,70	1,76
CV	109,80	113,43	73,30
Ls	2,57	2,30	3,22
Li	0,83	0,70	1,58
E%	51,31	53,01	34,26

En la Figura de cajas y bigotes (boxplot), el número de brotes tiende a aumentar con la altura. Los brotes más altos (>3 m) tienen un rango intercuartílico más alto y una mediana más alta en comparación con las otras categorías. Los más pequeños (<1 m y >1 m <3 m) tienen distribuciones similares en cuanto al número de brotes. En resumen, el gráfico confirma que la altura de la mata está relacionada positivamente con el número de brotes, siendo las matas más altas las que tienden a tener más brotes. En consecuencia, este patrón sugiere que las plantas más altas tienen mayores recursos disponibles (por ejemplo, energía almacenada, acceso a luz y nutrientes) para invertir en la producción de nuevos brotes. Las plantas más jóvenes o pequeñas, por otro lado, pueden estar limitadas por su menor tamaño y, por lo tanto, tienen menos capacidad para generar una gran cantidad de brotes.

En consecuencia, el conocimiento de la relación entre altura y número de brotes es relevante para el manejo silvícola de *G. angustifolia*. En plantaciones comerciales, se sugiere priorizar el manejo de plantas de mayor altura para optimizar la producción de biomasa, implementando prácticas como la fertilización y el control de la competencia. Se reconoce que los resultados están basados en una muestra específica, por lo que se recomienda realizar estudios adicionales que consideren otros factores influyentes como la densidad de plantación,

la calidad del suelo, la disponibilidad hídrica y la exposición lumínica, para validar la generalización de estos hallazgos (Figura 5).



**Figura 5.** Cajas y bigotes (boxplot) de la distribución del número de brotes por mata.

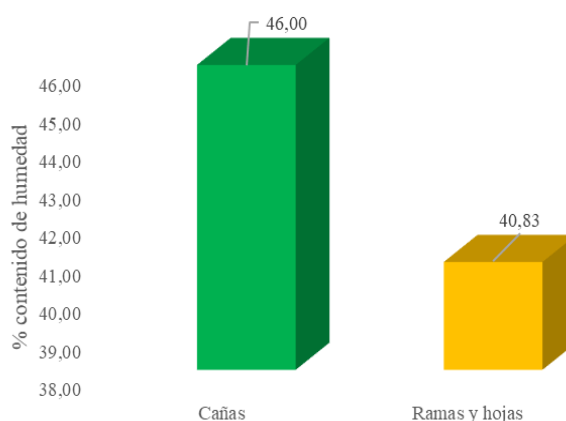
#### 4.2. Biomasa área, el carbono almacenado y el dióxido de carbono secuestrado en la plantación de *Guadua angustifolia*

Se encontró un contenido de humedad (CH) promedio por caña de 46 %  $\pm$  2,71 % para las cañas de *Guadua* y 40,83 %  $\pm$  2,57 % para las ramas y hojas de la *Guadua*. La biomasa 10,22 kg  $\pm$  1,46 kg; el carbono 5,11 kg  $\pm$  0,73 kg y finalmente el CO<sub>2</sub> 18,75 kg  $\pm$  2,68 kg. Asumiendo que se encontrarían 3 283 cañas por ha, la biomasa sería 34,87 t/ha, 17,44 t/ha de carbono y 63,99 t/ha de CO<sub>2</sub> (Tabla 5).

**Tabla 5.** Estadísticos del CH, Biomasa, C y CO<sub>2</sub> por Kg/caña.

Valor estadístico	CH % (cañas)	CH % (ramas y hojas)	Biomasa (kg)/caña	C (Kg)/caña	CO <sub>2</sub> (kg)/caña
$\bar{x}$	46,00	40,83	10,22	5,11	18,75
S <sup>2</sup>	33,67	30,36	9,76	2,44	32,88
S	5,80	5,51	3,12	1,56	5,73
CV	12,62	13,49	30,58	30,58	30,58
Ls	48,71	43,40	11,68	5,84	21,43
Li	43,28	38,25	8,76	4,38	16,07
E %	7,28	8,62	12,21	12,21	12,21

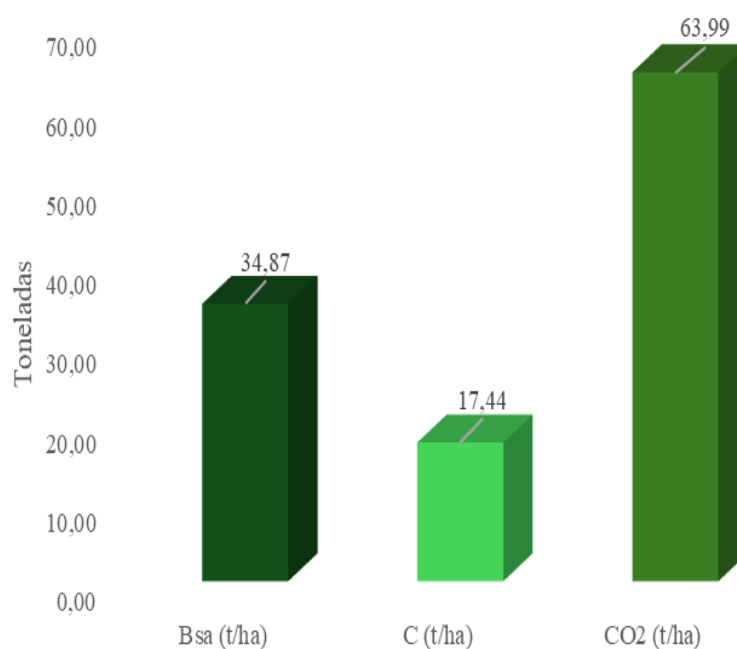
En consecuencia, el CH es más alto en las cañas en comparación con las ramas y hojas. Esto se puede atribuir a la estructura densa de las cañas y su capacidad para retener agua. Este fenómeno fue descrito por Darabant et al. (2014), quienes observaron que los tallos jóvenes y los entrenudos tienen niveles de humedad elevados, lo que afecta su eficiencia energética. Además, Abebe et al. (2023) señalaron que el contenido de humedad varía según las características estructurales del material vegetal, lo que influye en su potencial como biomasa. Estos hallazgos son importantes para mejorar el uso energético de los componentes del bambú (Figura 6).



**Figura 6.** Contenido de humedad de cañas, ramas y hojas.

La biomasa aérea total (Bsa) se sitúa en 34,87 t/ha, con un almacenamiento de carbono (C) de 17,44 t/ha y una captura equivalente de CO<sub>2</sub> de 63,99 t/ha. Estos números destacan la capacidad del bambú para funcionar como un sumidero de carbono muy eficiente, lo que coincide con lo que reportaron Núñez y Ramírez (2022), quienes señalaron que *G. angustifolia* puede capturar hasta 71,041 t C/ha. De manera similar, Soheli et al. (2015) subrayaron la importancia del bambú en la captura de CO<sub>2</sub> en proyectos sostenibles. Estos hallazgos refuerzan la necesidad de un manejo adecuado para maximizar los beneficios climáticos que el bambú puede ofrecer.

Estudios muestran que la biomasa de los árboles tiende a aumentar con el tiempo, y hay diferencias notables entre los bosques primarios, los pastizales y las plantaciones de palma aceitera, donde la cantidad de carbono almacenado varía según el uso del suelo. Aunque los bosques primarios tienen más biomasa y capacidad de almacenamiento, especies como *Guazuma crinita* y *G. angustifolia* son fundamentales para la restauración ecológica gracias a su rápido crecimiento, su valor comercial y su papel en el secuestro de carbono (Torres, 2009; Salazar, 2012) (Figura 7).



**Figura 7.** Cantidad de biomasa, carbono y dióxido de carbono en t/ha.

#### **4.3. Modelo alométrico para el cálculo del secuestro del dióxido de carbono en la plantación de *Guadua angustifolia***

Los modelos alométricos presentados en la tabla muestran diversas ecuaciones para estimar la captura de CO<sub>2</sub> en *G. angustifolia*, destacando la influencia del diámetro de la caña (D) como variable predictiva. Rojas (2009) encontró que el bosque con guadua era capaz de almacenar 110,16 t/ha con un alto grado de correlación del diámetro y la biomasa aérea de *G. angustifolia*. Por su parte, García y Del Castillo (2013) encontraron en pacales de una comunidad nativa, notable cantidad de carbono almacenado con una biomasa de 66,47 t/ha, subrayando su relevancia para ayudar a mitigar el cambio climático. Asimismo, el modelo polinómico de grado 3, con un R<sup>2</sup> ajustado de 0,81, demostró ser el más preciso, lo que concuerda con los hallazgos de Oblitas (2022), quien resaltó su utilidad para mediciones prácticas en campo. Esta precisión se atribuye a la capacidad del modelo para capturar la relación no lineal entre el diámetro y la biomasa, un aspecto también señalado por Aguirre y Gutiérrez (2009) en estudios sobre estimación de biomasa aérea. La variabilidad en los parámetros (b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>3</sub>) refleja la complejidad de las relaciones morfométricas en bambúes, tal como observaron López (2023) y Kaam et al. (2023) al analizar factores como edad y densidad. Estos resultados subrayan la importancia de emplear modelos específicos para cada especie, como recomienda Pati et al. (2022), para optimizar la gestión sostenible de plantaciones de bambú (Tabla 6).

**Tabla 6.** Ecuaciones alométricas para diámetro de *G. angustifolia*.

N°	Nombre	Modelo	b0	b1	b2	b3
1	Lineal	$CO_2=b1D-b0$	28,337	11,456		
2	Potencial	$CO_2=b0D^{b1}$	0,6802	2,3149		
3	Exponencial	$CO_2=b0e^{b1*D}$	1,6641	0,5779		
4	Polinómica de grado 2	$CO_2=b2D^2-b1D+b0$	920,12	457,21	57,788	
5	Polinómica de grado 3	$CO_2=b3D^3-b2D^2+b1D-b0$	29371	21908	5440,5	450,07

\*Adaptado de Oblitas (2022).

Dónde:

$CO_2$  = dióxido de carbono.

D = diámetro de la caña (tomado aproximadamente a 1 m de altura desde el suelo).

b0, b1, b2 y b3 = parámetros que miden la influencia de las variables (Anexo C).

Los modelos alométricos que se presentan en la tabla son útiles para estimar la captura de  $CO_2$  en *G. angustifolia*, utilizando la altura (A) como una variable predictiva. El modelo polinómico de grado 3 se destaca por su habilidad para adaptarse a la variabilidad en el crecimiento vertical del bambú, lo que coincide con investigaciones anteriores que subrayan la importancia de los modelos no lineales en la estimación de biomasa (Oblitas, 2022). Este hallazgo se alinea con las observaciones de Bovis (2020), quien notó que la altura de las cañas de guadua sigue un patrón de crecimiento acelerado durante los primeros meses. La precisión de los modelos exponencial y potencial sugiere que la relación entre altura y captura de  $CO_2$  no es estrictamente lineal, un punto que también respalda Kaam et al. (2023) al examinar la influencia de variables morfométricas. Estos resultados refuerzan la necesidad de utilizar ecuaciones específicas para optimizar el manejo sostenible de las plantaciones de bambú, tal como sugieren Pati et al. (2022) (Tabla 7).

**Tabla 7.** Ecuaciones alométricas para altura de *G. angustifolia*.

N°	Nombre	Modelo	b0	b1	b2	b3
1	Lineal	$CO_2=b1A-b0$	0,4457	3,3808		
2	Potencial	$CO_2=b0A^{b1}$	3,7783	0,9226		
3	Exponencial	$CO_2=b0e^{b1*A}$	6,8663	0,177		
4	Polinómica de grado 2	$CO_2=b2A^2-b1A+b0$	29,441	7,5995	1,0328	
5	Polinómica de grado 3	$CO_2=b3A^3-b2A^2+b1A-b0$	517,08	311,69	60,804	3,9706

\*Adaptado de Oblitas (2022).

Dónde:

$CO_2$  = dióxido de carbono.

A = altura de la caña estimada con un clinómetro.

$b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  y  $b_3$  = parámetros que miden la influencia de las variables (Anexo C).

Para estimar la cantidad de CO<sub>2</sub> almacenado en 20 cañas de *G. angustifolia*, utilizando el diámetro (D) como variable predictiva se muestran varios modelos en tabla adjunta. El cálculo directo, que toma en cuenta el peso fresco y seco de las cañas, dio un valor de referencia de 374,95 kg de CO<sub>2</sub>. Los modelos alométricos presentaron diferencias en su precisión, destacando que el modelo polinómico de grado 3 logró el mayor R<sup>2</sup> (0,27) y el menor error estándar residual ( $\sigma=4,89$ ), lo que sugiere que es el más adecuado para estas estimaciones (Oblitas, 2022). Estos hallazgos coinciden con investigaciones anteriores que indican que los modelos no lineales son más efectivos para capturar la relación entre las variables morfométricas y el almacenamiento de carbono en bambú (Kaam et al., 2023). Sin embargo, los bajos valores de R<sup>2</sup> en todos los modelos ( $\leq 0,27$ ) muestran que el diámetro por sí solo solo explica una parte de la variabilidad en el CO<sub>2</sub> almacenado, lo que refuerza la necesidad de incluir otras variables como la altura o la edad en futuros modelos, tal como sugieren Pati et al. (2022). La coincidencia entre el cálculo directo y el modelo lineal (374,94 vs 374,95 kg) sugiere que este último podría ser útil para estimaciones rápidas cuando no se tienen datos detallados (Tabla 8).

**Tabla 8.** Cálculo del CO<sub>2</sub> basado en el diámetro de la caña.

Nº	Nombre	Modelo	CO <sub>2</sub> estimado kg/ 20 cañas	R <sup>2</sup> de ajuste	SCE	$\sigma$
0	Calculo directo	$CO_2 = ((P_{sc} + P_{srh}) * 0,5) * 3,67$	374,95			
1	Lineal	$CO_2 = b_1D - b_0$	374,94	0,12	552,00	5,39
2	Potencial	$CO_2 = b_0D^{b_1}$	358,63	0,12	562,89	5,38
3	Exponencial	$CO_2 = b_0e^{b_1 * D}$	357,88	0,12	560,74	5,37
4	Polinómica de grado 2	$CO_2 = b_2D^2 - b_1D + b_0$	342,95	0,18	509,55	5,18
5	Polinómica de grado 3	$CO_2 = b_3D^3 - b_2D^2 + b_1D - b_0$	324,18	0,27	470,24	4,89

\*Adaptado de Oblitas (2022).

Los modelos alométricos que se evaluaron para estimar el CO<sub>2</sub> en *G. angustifolia*, utilizando la altura como variable predictiva, no lograron resultados muy prometedores, ya que ningún modelo superó un R<sup>2</sup> de 0,07. Esto respalda lo que mencionaron Aguirre y Gutiérrez (2009) sobre las limitaciones de basarse en variables únicas para estimar la biomasa. El modelo polinómico de grado 2, que arrojó un resultado de 371,12 kg, fue el más cercano al cálculo directo de 374,95 kg. Esto coincide con lo que encontró López (2023), quien observó relaciones débiles entre las variables morfométricas y la biomasa en guaduales, con un R<sup>2</sup> de 0,10.

Además, los bajos valores de  $R^2$  están en línea con los hallazgos de Nívar et al. (2013), quienes demostraron que las ecuaciones desarrolladas localmente ofrecen mejores ajustes. Esto sugiere que sería útil incluir otras variables, como la edad y la densidad de plantación, tal como recomiendan Kaam et al. (2023). La consistencia relativa entre los modelos lineales y no lineales, que oscila entre 356,89 y 371,12 kg, respalda la observación de Oberle et al. (2023) sobre la utilidad de emplear múltiples enfoques según los objetivos específicos. En resumen, estos resultados refuerzan la propuesta de Pati et al. (2022) de utilizar modelos específicos para cada especie, especialmente para *G. angustifolia*, considerando su rápido crecimiento vertical documentado por Bovis (2020) y su potencial de captura de carbono reportado por Núñez y Ramírez (2022), que es de 71,04 t C/ha (Tabla 9).

**Tabla 9.** Cálculo del CO<sub>2</sub> basado en la altura de la caña.

N°	Nombre	Modelo	CO <sub>2</sub> estimado kg/ 20 cañas	R <sup>2</sup> de ajuste	SCE	σ
0	Calculo directo	$CO_2 = (((P_{sc} + P_{srh}) * 0,5) * 3,67)$	374,95			
1	Lineal	$CO_2 = b_1A - b_0$	356,89	0,06	584,79	5,55
2	Potencial	$CO_2 = b_0Ab_1$	358,74	0,06	598,12	5,55
3	Exponencial	$CO_2 = b_0eb_1 * A$	357,78	0,06	595,04	5,55
4	Polinómica de grado 2	$CO_2 = b_2A^2 - b_1A + b_0$	371,12	0,07	584,04	5,54
5	Polinómica de grado 3	$CO_2 = b_3A^3 - b_2A^2 + b_1A - b_0$	365,04	0,07	581,90	5,53

\*Adaptado de Oblitas (2022).

## V. CONCLUSIONES

1. La plantación de *G. angustifolia* de dos años se registró un promedio de  $6,21 \pm 0,495$  cañas por mata, con diámetro basal de  $4,11 \pm 0,227$  cm y altura de  $5,75 \pm 0,324$  m. La distribución de brotes por categorías de altura mostró valores medios de  $1,7 \pm 0,87$  (brotes <1 m),  $1,7 \pm 0,8$  (brotes de 1-3 m) y  $2,4 \pm 0,82$  (brotes >3 m).
2. El contenido de humedad (CH) promedio fue de  $46 \% \pm 2,71 \%$  en cañas de Guadua y  $40,83 \% \pm 2,57 \%$  en ramas y hojas. En términos de biomasa, se registraron  $10,22 \text{ kg} \pm 1,46 \text{ kg}$  por unidad, con un contenido de carbono equivalente a  $5,11 \text{ kg} \pm 0,73 \text{ kg}$  y una captura de CO<sub>2</sub> de  $18,75 \text{ kg} \pm 2,68 \text{ kg}$ . Extrapolando estos valores a escala hectárea, se obtuvieron 34,87 t/ha de biomasa, 17,44 t/ha de carbono almacenado y 63,99 t/ha de CO<sub>2</sub> secuestrado.
3. El cálculo directo (peso fresco/seco) estimó 374,95 kg CO<sub>2</sub>. Entre los modelos alométricos, el polinómico de grado 3 mostró el mejor ajuste ( $R^2=0,27$ ;  $\sigma=4,89$ ), aunque la baja precisión general ( $R^2<0,3$ ) limita su uso para evaluar crecimiento utilizando el diámetro. Los modelos basados en altura fueron poco precisos ( $R^2<0,07$ ). El modelo polinómico de grado 2 fue el más cercano al cálculo directo (371,12 vs. 374,95 kg). Los resultados sugieren que estimar biomasa solo con diámetro o altura tiene limitaciones.

## VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Implementar sensores IoT para monitorear en tiempo real el crecimiento de *G. angustifolia* (diámetro, altura, humedad y CO<sub>2</sub>), integrando datos en una plataforma cloud con IA para optimizar manejo silvicultural y captura de carbono. La solución reducirá costos, alertará sobre estrés hídrico/plagas y aumentará resiliencia climática. Tecnología escalable para maximizar sostenibilidad y mitigación del cambio climático.
2. Usar drones con LIDAR y cámaras multiespectrales para generar modelos 3D de plantaciones, procesando datos con software especializado y creando ecuaciones alométricas dinámicas que superen los métodos tradicionales. Esto permitirá estimar biomasa y carbono sin técnicas destructivas, escalable a grandes áreas, e integrará imágenes satelitales para planificar corredores de bambú como sumideros de carbono.
3. Transformar residuos de *G. angustifolia* en biochar mediante pirólisis, mejorando suelos degradados con mayor retención de agua, nutrientes y carbono, mientras se generan biocombustibles como subproductos rentables. Combinar con riego por goteo solar para zonas áridas, aumentando la resiliencia climática. Proyectos piloto incluirán capacitación en tecnologías verdes para impulsar economías circulares locales.

## VII. REFERENCIAS

- Abebe, S., Gebeyehu, G., Teketay, D., Long, T., & Jayaraman, D. (2023). Allometric models for estimating biomass storage and carbon stock potential of *Oldeania alpina* (K. Schum.) Stapleton forests of south-western Ethiopia. *Advances in Bamboo Science*, 2, 100008.
- Aguirre, M., & Gutiérrez, R. (2009). *Potencial de captura de carbono de la Guadua spp, por estadíos en el bosque local “El Maronal de Atumplaya”*. [Tesis doctoral, Universidad Nacional de San Martín, Perú]. Repositorio institucional. <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/198>).
- Álvarez, G. (2008). *Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del trópico de Cochabamba, Bolivia*. [Tesis de Maestría, Centro agronómico Tropical de Investigación y enseñanza].
- Añazco, M. (2013). Estudio de vulnerabilidad del bambú (*Guadua angustifolia*) al cambio climático. *Quito, Ecuador: Red Internacional del Bambú y Ratán INBAR*.
- Araujo, D. (2015). *Propagación vegetativa de Dendrocalamus asper (Schult. Schult. F.) Backer ex K. Heyne y Guadua angustifolia Kunth establecidas en campo definitivo, Tulumayo-Tingo María*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/632>
- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación* (7<sup>ma</sup> ed.). (Ed.) Episteme, C.A.
- Arias, J. & Covinos, M. (2021). *Diseño y metodología de la investigación*. (Ed.) Enfoques Consulting EIRL.
- Bloomberg, M., Mason, E. G., Jarvis, P., & Sedcole, R. (2008). Predicting seedling biomass of radiata pine from allometric variables. *New Forests*, 36, 103-114.
- Bovis, P. (2020). *Modelización matemática del crecimiento del diámetro y altura de cañas de guadua angustifolia en el fundo agrícola de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, región Huánuco*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/1770>
- Briceño, E., Villalobos, M. V., & Vargas, L. (2017). *Desarrollo de un modelo de producción de bambú guadua mediante la aplicación de técnicas silviculturales óptimas para la cuantificación del crecimiento y la capacidad de almacenamiento de carbono en plantaciones (Guadua angustifolia) en la Zona Sur de Costa Rica*. [Informe técnico, Instituto Tecnológico de Costa Rica - Escuela de Ingeniería Forestal].

- Camargo, J., & Kleinn, C. (2010). Curvas de longitud y funciones de volumen para guadua bambú (*Guadua angustifolia* Kunth) para la región cafetera de Colombia. *Revista Europea de Investigación Forestal*, 129(6), 1213-1222.
- Castaño, F. & Móstiga, M. (2018). La Florida Cajamarca: La mayor experiencia peruana en la silvicultura del bambú. *Bambú para la Ciencia, Innovación y Tecnología – BAMBUCYT*, Vol. N° 1.
- Castaño, F., & Moreno, R.D. (2004). *INBAR, Documento Técnico de TOTEM de manejo de guaduales naturales, GTZ Colombia, Guadúa para todos.*
- Darabant, A., Haruthaithanasan, M., Atkla, W., Phudphong, T., Thanavat, E., & Haruthaithanasan, K. (2014). Bamboo biomass yield and feedstock characteristics of energy plantations in Thailand. *Energy Procedia*, 59, 134-141.
- Delgado, L., Acevedo, M. F., Castellanos, H., Ramírez, H., & Serrano, J. (2005). Relaciones alométricas y patrones de crecimiento para especies de árboles de la reserva forestal Imataca, Venezuela. *Interciencia*, 30(5), 275-283.
- Dickson, A., Leaf, A., & Hosner, J. (1960). Seedling quality – soil fertility relationships of white spruce, red, and white pine in nurseries. *The Forest Chronicle* 36(3): 237-241.
- Fonseca, W. (2017). Revisión de métodos para el monitoreo de biomasa y carbono vegetal en ecosistemas forestales tropicales. *Revista de Ciencias Ambientales*, 51(2): 91-109
- García, D., & Del Castillo, D. (2013). Estimación del almacenamiento de carbono y estructura en bosques con presencia de Bambú (*Guadua sarcocarpa*) de la comunidad nativa bufeo Pozo, Ucayali, Perú. *Folia Amazónica*, 22(1-2), 105-113.
- Geudens, G., Staelens, J., Kint, V., Goris, R., & Lust, N. (2004). Allometric biomass equations for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings during the first years of establishment in dense natural regeneration. *Annals of Forest Science*, 61(7), 653-659.
- González, H. (2005). Elaboración de una propuesta para el aprovechamiento y la transformación del bambú en el ámbito del PRODAPP (Puerto Inca-Oxapampa). *Informe Final. Lima, Perú.*
- Grossnickle, S. (2012). Why seedlings survive: influence of plant attributes. *New Forests*, 43: 711-738.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2006). *Metodología de la Investigación* (4<sup>ta</sup> ed.). México: Mc Graw Hill.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación* (6<sup>ta</sup> ed.). McGraw-Hill Educación.

- Herrera, E. (2005). La guadua y sus aportes al ambiente. Guadua y Bambú Colombia (GBC) Guadua *Angustifolia* Kunth. *Obtenido de <https://guaduabambucolombia.com>*.
- Holdridge, L. R. (1986). *Ecología basada en zonas de vida* (No. 83). Agroamérica.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2007). *Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua angustifolia Kunth* (NTC5525).
- Kaam, R., Nforukah, B. N., Chimi, C. D., Nguéfack, J. A., Tchamba, M., & Zapfack, L. (2023). Bamboo Biomass: A Strategy for Climate Change Mitigation and Adaptation, and Forest Landscape Restoration (FLR) in Cameroon. *In Bamboo Science and Technology* (pp. 397-428). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Lobovikov, M., Paudel, S., Piazza, M., Ren, H., & Wu, J. (2007). *World bamboo resources. A thematic study prepared in the framework of the global forest resources assessment 2005. Non wood forest products 18*. International network for bamboo and rattan (INBAR) and food and agriculture organization of the United Nations (FAO). Rome, P 73.
- López, J. (2023). Modelos alométricos para la estimación de atributos de Guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) en el Centro de Estudios Vegetales y Biodiversidad Asociada (CEVBA) Vereda la Rejoya, Popatán, Cauca. [Tesis de pregrado, Universidad del Cauca, Colombia]. Repositorio institucional. <http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/7873>
- Mejía, E. (2005). *Técnicas e instrumentos de investigación*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Méndez, N. (2014). *Diagnóstico de guaduales y propuesta de un modelo de ordenamiento forestal sostenible productivo para el manejo e industrialización de la Guadua (*Guadua angustifolia* Kunth), con participación comunitaria en la cuenca hidrográfica del río Guarapas, zona sur del departamento de Huila, Colombia*. [Tesis doctoral, Universidad Católica de Ávila, España].
- Ministerio de Agricultura – Dirección General de Competitividad Agraria. (2010). *Plan nacional de promoción del bambú 2008-2020*. (2<sup>da</sup> ed).
- Molina, D. & Montealegre, W. (2018). *Cuantificación de biomasa aérea utilizando medidas dasométricas para la guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) en la cuenca hidrográfica del río Guarapas en el municipio de Pitalito Huila, como aporte a la cuantificación de captura de carbono orgánico en guaduales*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia – Colombia].

- Moscovich, F. (2004). Modelos de crecimiento y producción forestal. *INTA. Centro Regional Misiones, Estación Experimental Montecarlo, Argentina.*
- Návar, J., Rodríguez, F. D. J., & Domínguez, P. A. (2013). Ecuaciones alométricas para árboles tropicales: aplicación al inventario forestal de Sinaloa, México. *Agronomía Mesoamericana*, 24(2), 347-356.
- Núñez, A. & Ramírez, M. (2022). *Estimación del potencial de captura de carbono en las plantaciones de Guadua angustifolia, RÍO NEGRO – SATIPO.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/8923>
- Oberle, B., OliviaCole, P., Frank, G., Gates, A., Hall, B., Harvey, D., ... & Bustetter, S. P. (2023). Multilevel allometric growth equations improve accuracy of carbon monitoring during forest restoration. *Trees, Forests and People*, 14(2023) 100442
- Oblitas, W. (2022). *Ecuaciones alométricas para la estimación de captura de co2 en plantaciones de guadua angustifolia kunth para diámetro y altura, en Aramango, Amazonas, 2020.* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/5106>
- Orozco, G., Ordoñez, C., & De Lira, R. (2020). *Metodología para la evaluación del crecimiento inicial de bambú (Guadua angustifolia kunth) en plantaciones forestales comerciales.* Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Folleto Técnico No. 22.
- Pati, P. K., Kaushik, P., Khan, M. L., & Khare, P. K. (2022). Allometric equations for biomass and carbon stock estimation of small diameter woody species from tropical dry deciduous forests: Support to REDD+. *Trees, Forests and People*, 9, 100289.
- Picard, N., Saint-André, L., & Henry, M. (2012). *Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles: del trabajo de campo a la predicción.*
- Quesada, R. & Castillo, M. (2010). *Demografía de especies maderables de la Península de Osa.* Informe final. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Rojas, R. (2009). *Estimación del potencial de almacenamiento de carbono de la Guadua angustifolia en el Parque Nacional Carrasco, del departamento de Cochabamba-Bolivia.* [Tesis de pregrado, Universidad de Nuestra Señora de la Paz, Bolivia].
- Ruehle, J. L., Marx, D. H., & Muse, H. D. (1984). Calculated nondestructive indices of growth response for young pine seedlings. *Forest Science*, 30(2), 469-474.

- Salazar, E. (2012). *Cuantificación del carbono en la biomasa aérea de tres diferentes usos de la tierra en la cuenca de Aguaytía sectores: Irazola, curimaná y campo verde - Región Ucayali*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/541>
- Schlegel, B. (2001). *Estimación de la biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempre verde*. 13.
- Schlegel, B. (2001). *Estimación de la biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempre verde. Universidad Austral de Chile. Simposio internacional medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales 8 al 20 de octubre del 2001*. Valdivia, Chile.
- Schmidt, A., Poulain, M., Klein, D., Krause, K., Peña-Rojas, K., Schmidt, H., & Schulte, A. (2009). Allometric above-belowground biomass equations for *Nothofagus pumilio* (Poepp. & Endl.) natural regeneration in the Chilean Patagonia. *Annals of Forest Science*, 66(5), 1-8.
- Sohel, M. S. I., Alamgir, M., Akhter, S., & Rahman, M. (2015). Carbon storage in a bamboo (*Bambusa vulgaris*) plantation in the degraded tropical forests: Implications for policy development. *Land Use Policy*, 49, 142-151.
- Stape, J., Gonçalves, J., & Gonçalves, A. (2001). Relationships between nursery practices and field performance for Eucalyptus plantations in Brazil. *New Forests*, 22, 19-41.
- Takahashi, J. (2016). *El bambú y su potencial para desarrollo sostenible en el Perú*. Universidad Científica del Sur.
- Takahashi, K., & Obata, Y. (2014). Growth, allometry and shade tolerance of understory saplings of four subalpine conifers in central Japan. *Journal of Plant Research*, 127(2), 329-338.
- Ter-Mikaelian, M., & Korzukhin, M. (1997). Biomass equations for sixty-five North American tree species. *Forest Ecology and Management*, 97(1), 1-24.
- Torres, M. (2009). *Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea y captura de CO<sub>2</sub> en Bolaina (Guazuma crinita C. Martius), en el sector de Santa Rosa de Shapajilla*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/686>
- Valderrama, S. (2013). *Pasos para elaborar proyectos de investigación científica* (2ª ed.). Ed. San Marcos.
- Wadsworth, F. (2000). *Producción forestal para América Tropical*. USDA, CATIE y IUFRO.

**ANEXO**

## ANEXO A: Datos de campo

Tabla 10. Número de cañas, diámetro y altura por mata de *G. angustifolia*.

N° Mata	N° Cañas	Diámetro (mm)	Altura caña (m)
1	1	25,17	3,5
1	2	29,01	3,0
1	3	24,07	3,6
1	4	23,70	3,0
1	5	31,67	3,8
1	6	47,06	5,3
1	7	45,26	7,5
1	8	39,58	4,0
1	9	59,57	5,0
1	10	56,59	5,5
2	1	46,87	6,0
2	2	39,60	5,5
2	3	31,10	4,5
2	4	44,19	7,0
2	5	45,13	6,0
2	6	39,87	5,0
2	7	47,35	6,0
2	8	45,92	5,2
2	9	37,61	6,4
3	1	36,93	5,0
3	2	26,43	4,5
3	3	43,16	8,0
3	4	47,16	5,8
3	5	26,00	6,0
3	6	23,60	4,3
4	1	53,71	5,0
4	2	21,35	4,0
4	3	34,80	5,0
4	4	60,63	8,5
4	5	28,41	4,5
4	6	23,98	3,0
4	7	60,08	5,5
4	8	22,14	3,5
4	9	20,19	2,4
4	10	62,81	6
5	1	29,86	3
5	2	29,70	4
5	3	69,61	8
5	4	25,15	3
5	5	60,28	5,8
5	6	25,46	5,9

---

5	7	18,65	2,5
5	8	21,86	2
5	9	26,76	4,5
6	1	39,54	4
6	2	48,63	6
6	3	62,74	7
6	4	42,34	5
6	5	22,48	4
6	6	70,60	7
6	7	37,88	5,5
6	8	28,58	5
6	9	26,81	4
6	10	73,99	7
6	11	52,80	6
6	12	66,45	5
6	13	35,95	3
6	14	74,79	8
7	1	82,71	8
7	2	54,77	5
7	3	32,84	4,5
7	4	48,58	4
7	5	53,67	6
7	6	40,16	5
7	7	78,00	8
7	8	28,45	3
7	9	76,38	9
7	10	86,46	9
7	11	33,73	4
7	12	53,89	6
8	1	19,78	3
8	2	33,95	3,1
8	3	56,86	4
8	4	23,76	4,5
8	5	41,73	5
8	6	42,51	6
8	7	19,95	5,8
8	8	74,33	8
8	9	25,39	6
8	10	30,33	4
9	1	40,70	6,5
9	2	49,70	6,5
9	3	60,90	7,7
9	4	59,60	7,1
9	5	50,80	6,3
10	1	50,30	8,2
10	2	38,80	6,8

---

---

10	3	49,60	6,3
10	4	64,00	9
10	5	27,60	4,5
10	6	26,70	3,2
11	1	58,90	11,2
11	2	60,70	10,2
11	3	46,10	6,9
11	4	35,30	5,8
11	5	44,40	6,1
11	6	73,10	12,1
11	7	59,80	7,7
11	8	33,80	4,1
11	9	34,80	4,8
11	10	33,10	4,7
11	11	70,30	11,2
11	12	65,00	10,8
11	13	40,90	5,12
11	14	39,70	4,9
11	15	56,00	9,8
12	1	40,50	8,1
12	2	30,60	7,2
12	3	39,10	9,3
12	4	38,20	6,5
12	5	31,20	6
12	6	25,50	6,9
12	7	30,50	6,2
12	8	33,50	6,3
12	9	22,40	6,1
12	10	31,40	6,5
12	11	24,70	5,5
13	1	52,30	7,5
13	2	30,10	5,8
13	3	36,20	7,2
13	4	41,70	8,1
13	5	24,00	4,9
13	6	49,80	9,1
13	7	36,80	10,5
13	8	25,40	5,1
14	1	53,80	8,3
14	2	29,40	6,2
14	3	38,90	7,3
14	4	35,60	5,9
14	5	75,90	13,3
14	6	73,90	13,9
14	7	49,70	9,1
14	8	46,90	8,1

---

---

14	9	29,70	4,2
14	10	46,60	8,6
14	11	31,00	6,8
14	12	75,40	12
14	1	62,20	7
14	2	27,20	6
14	3	50,80	5
14	4	25,40	5
14	5	23,90	5,5
14	6	41,60	6
14	7	33,70	3,5
14	8	22,70	3
14	9	26,60	4
14	10	23,00	4,5
14	11	31,80	5
14	12	30,50	3
14	13	22,00	2
14	14	22,70	3,5
16	1	60,80	10
16	2	24,40	3,2
16	3	26,20	2,5
16	4	20,80	3
16	5	31,70	3
16	6	34,90	5,5
16	7	25,40	2,5
16	8	65,30	10
16	9	34,30	6
16	10	70,00	11
16	11	30,70	3
16	12	24,70	2,3
16	13	21,50	2,8
16	14	72,70	8
16	15	56,10	7,5
17	1	52,20	8
17	2	35,50	4,5
17	3	41,40	5,4
17	4	49,60	7
17	5	19,80	2,3
17	6	20,70	3
17	7	18,84	2,8
17	8	25,70	3,5
17	9	15,90	2,5
17	10	23,60	2,8
17	11	59,90	8
18	1	66,00	10
18	2	62,30	11

---

---

18	3	42,20	9
18	4	16,00	3,5
18	5	21,90	2,5
18	6	17,40	2,5
18	7	32,10	3
18	8	29,10	2,9
18	9	33,60	5,5
18	10	28,10	2,8
18	11	13,50	2,2
18	12	60,00	10
18	13	72,50	8
19	1	39,20	4,5
19	2	25,20	2
19	3	40,20	4
19	4	41,30	5
19	5	20,80	3
19	6	20,60	2,6
19	7	46,00	4,5
19	8	35,20	3,5
19	9	26,50	2,8
19	10	33,20	4
19	11	49,00	8
19	12	83,40	9
19	13	80,60	7
19	14	68,70	8
20	1	52,90	5,4
20	2	49,10	8,8
20	3	27,90	3,5
20	4	21,40	4,5
20	5	42,30	6,1
20	6	38,80	5,7
20	7	42,30	8,1

---

**Tabla 11.** Número de brotes por mata y altura de *G. angustifolia*.

<b>N° Mata</b>	<b>N° Brotes &lt; 1 m</b>	<b>N° Brotes &gt; 1 m &lt; 3m</b>	<b>N° Brotes &gt; 3m</b>
1	3	3	3
2	6	1	1
3	2	3	3
4	1	1	1
5	0	6	0
6	3	1	4
7	0	0	2
8	1	3	5
9	3	1	0
10	0	0	5
11	1	2	2
12	0	1	3
13	1	0	2
14	0	0	4
14	2	0	5
16	2	1	1
17	6	1	0
18	0	5	4
19	3	1	3
20	0	0	0

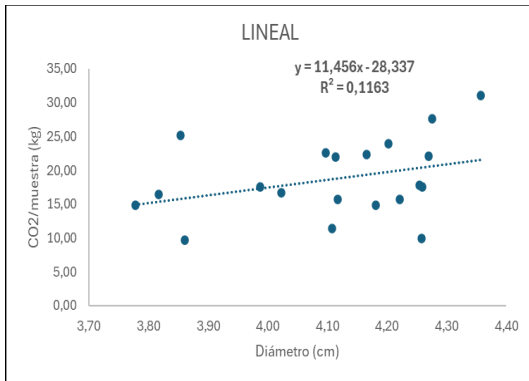
## ANEXO B: Biomasa, carbono y dióxido de carbono por muestra.

Tabla 12. Número de cañas, biomasa, carbono y CO<sub>2</sub> por mata de *G. angustifolia*.

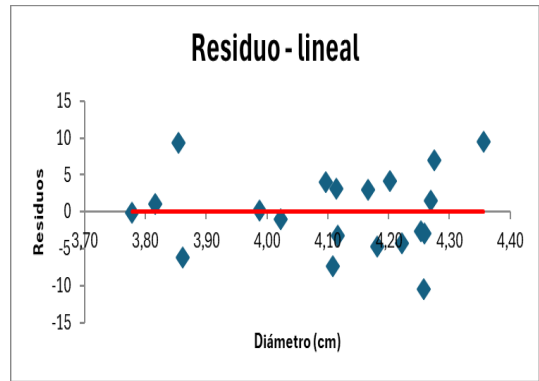
N°	Biomasa húmeda aérea		Contenido de humedad %		Biomasa seca aérea		Peso seco de C (Kg)	Peso del CO <sub>2</sub> (kg)	N° Cañas	CO <sub>2</sub>	C
	Muestras	Peso de caña (kg)	Peso de ramas y hojas (kg)	Cañas	Ramas y hojas	Peso seco de cañas (kg)	Peso seco de ramas y hojas (kg)	Bsa*0,5	Psc*3,67	muestra	muestra
1	8	8	0,449	0,429	4,41	4,57	4,49	16,47	10	164,73	44,89
2	9	8	0,457	0,418	4,89	4,65	4,77	17,51	9	157,59	42,94
3	11	9	0,333	0,290	7,33	6,39	6,86	25,18	6	151,06	41,16
4	5	5	0,481	0,460	2,59	2,70	2,65	9,71	10	97,13	26,47
5	6	9	0,493	0,439	3,04	5,05	4,05	14,85	9	133,69	36,43
6	8	8	0,471	0,393	4,24	4,86	4,55	16,69	14	233,61	63,65
7	12	12	0,515	0,481	5,82	6,22	6,02	22,09	12	265,13	72,24
8	9	12	0,389	0,370	5,50	7,56	6,53	23,97	10	239,68	65,31
9	6	5	0,538	0,471	2,77	2,65	2,71	9,94	5	49,69	13,54
10	10	9	0,538	0,449	4,62	4,96	4,79	17,56	6	105,39	28,72
11	14	12	0,370	0,325	8,82	8,11	8,46	31,06	15	465,94	126,96
12	9	8	0,460	0,399	4,86	4,81	4,84	17,75	11	195,24	53,20
13	7	8	0,449	0,408	3,86	4,73	4,29	15,76	8	126,06	34,35
14	14	12	0,439	0,399	7,86	7,22	7,54	27,66	12	331,91	90,44
15	9	8	0,550	0,493	4,05	4,06	4,05	14,87	14	208,25	56,74
16	12	10	0,471	0,418	6,35	5,82	6,08	22,33	15	334,94	91,26
17	8	7	0,460	0,399	4,32	4,21	4,27	15,65	11	172,20	46,92
18	13	10	0,493	0,429	6,60	5,71	6,16	22,59	13	293,69	80,02
19	9	9	0,373	0,299	5,65	6,31	5,98	21,94	14	307,19	83,70
20	6	5	0,471	0,399	3,18	3,01	3,09	11,35	7	79,43	21,64

**ANEXO C: Ecuaciones generadas del diámetro y altura con sus residuos**

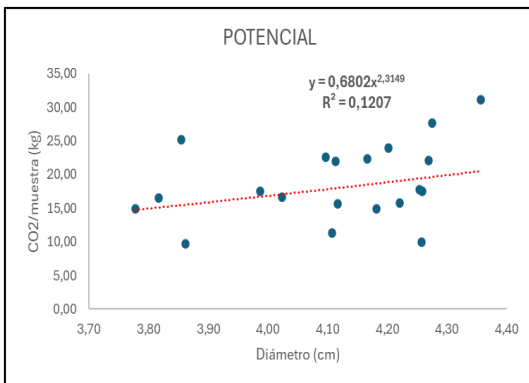
**Diámetro:**



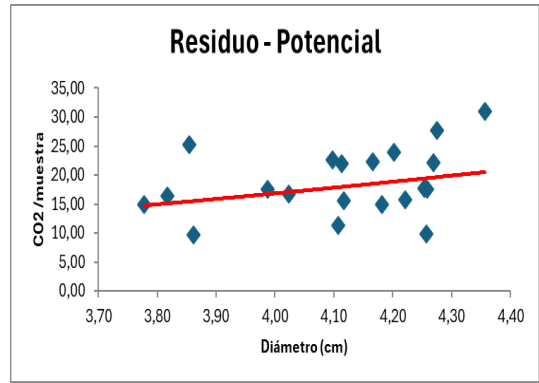
**Figura 8.** Ecuación lineal del diámetro.



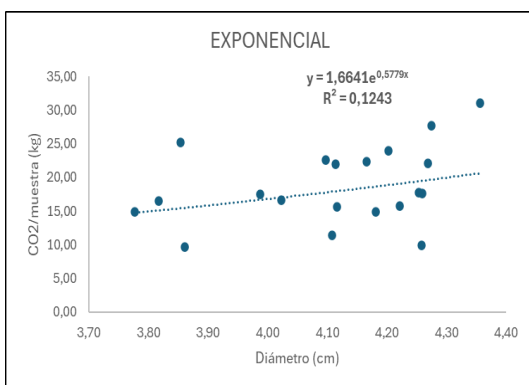
**Figura 9.** Residuo de la ecuación lineal.



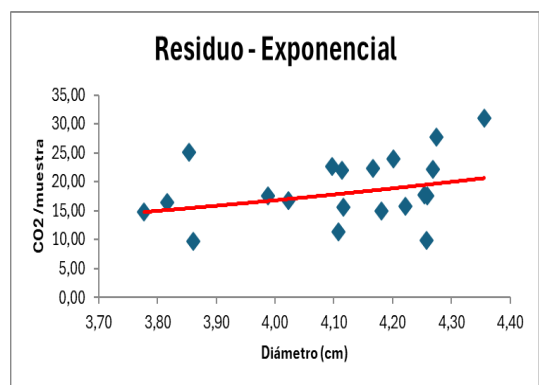
**Figura 10.** Ecuación potencial del diámetro.



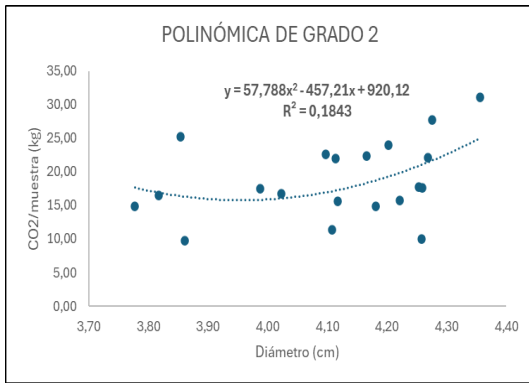
**Figura 11.** Residuo de la ecuación potencial.



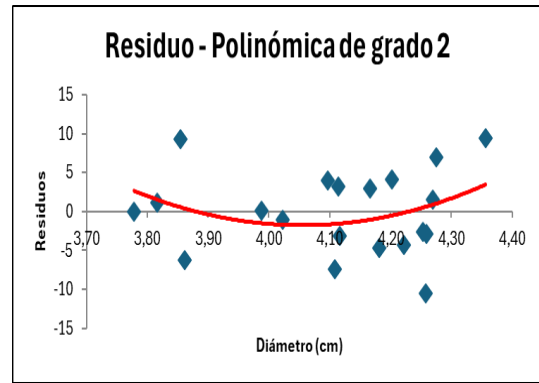
**Figura 12.** Ecuación exponencial del diámetro.



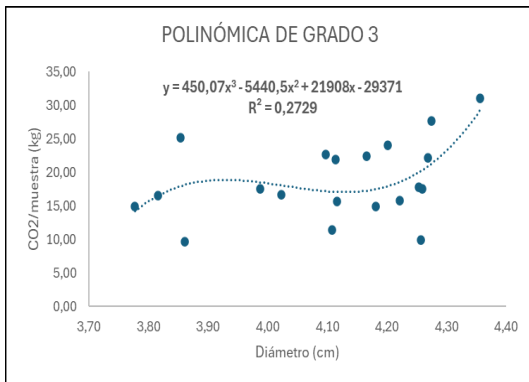
**Figura 13.** Residuo de la ecuación exponencial.



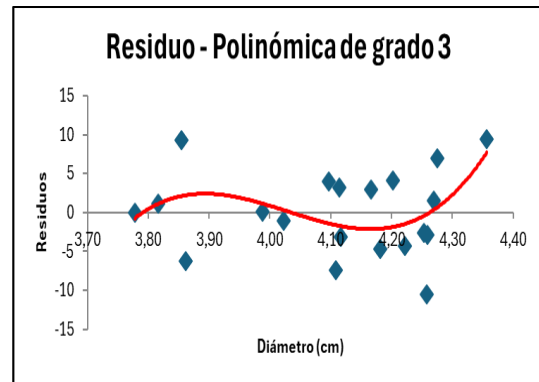
**Figura 14.** Ecuación polinómica de grado 2 del diámetro.



**Figura 15.** Residuo de la ecuación polinómica de grado 2.

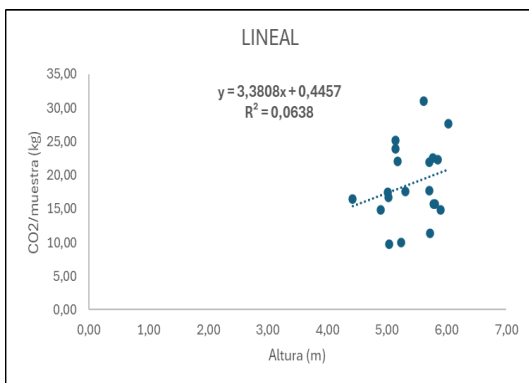


**Figura 16.** Ecuación polinómica de grado 3 del diámetro.

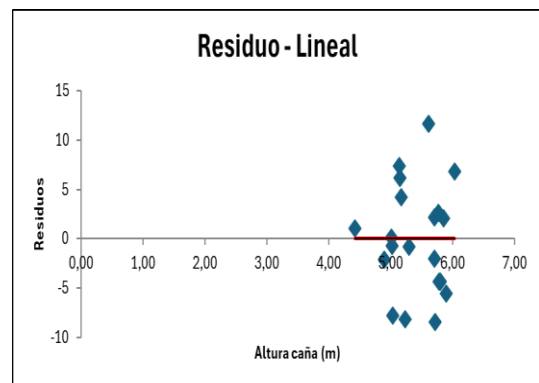


**Figura 17.** Residuo de la ecuación polinómica de grado 3.

**Altura:**



**Figura 18.** Ecuación lineal de la altura.



**Figura 19.** Residuo de la ecuación lineal.

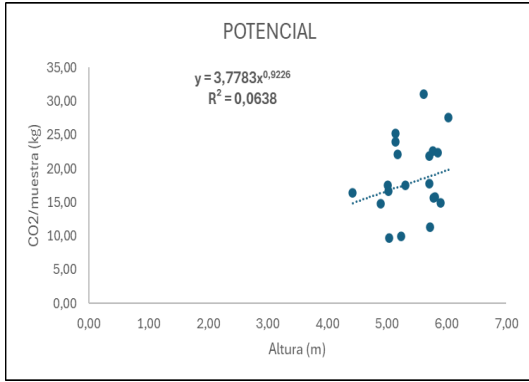


Figura 20. Ecuación potencial de la altura.

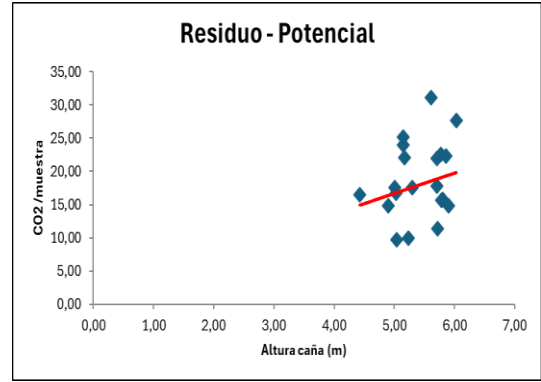


Figura 21. Residuo de la ecuación potencial.

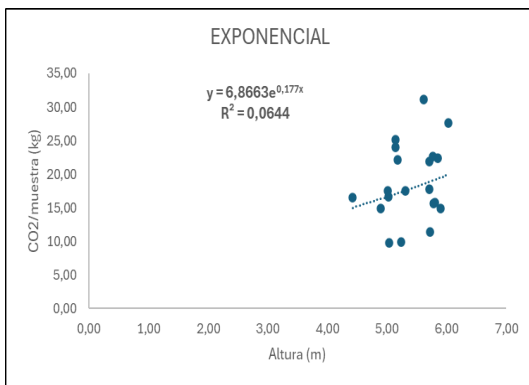


Figura 22. Ecuación exponencial de la altura.

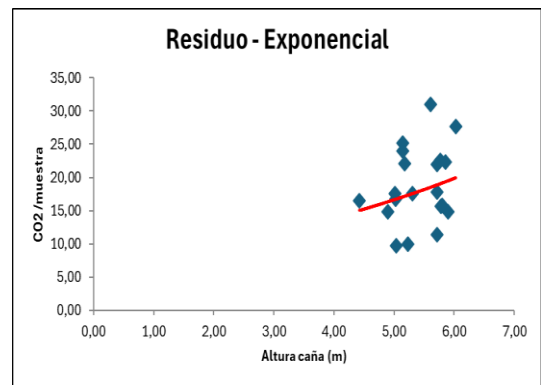


Figura 23. Residuo de la ecuación exponencial.

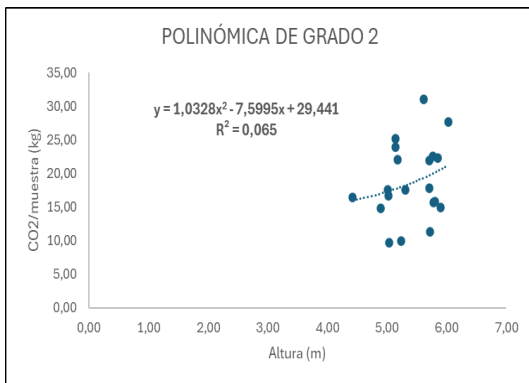


Figura 24. Ecuación polinómica de grado 2 de la altura.

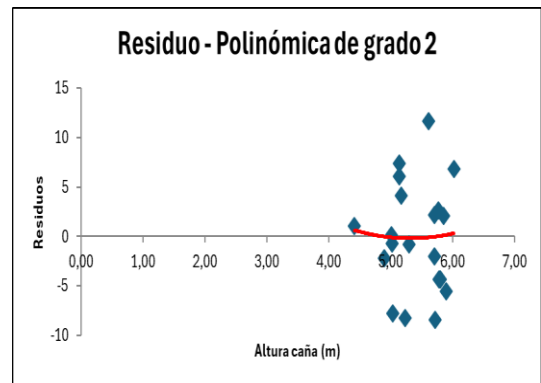
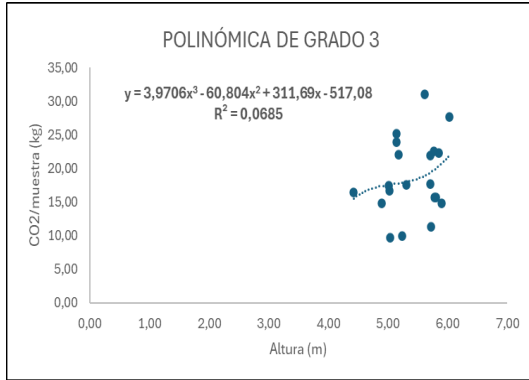
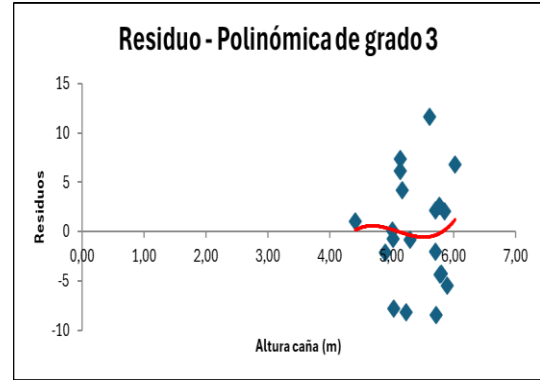


Figura 25. Residuo de la ecuación polinómica de grado 2.



**Figura 26.** Ecuación polinómica de grado 3 de la altura.



**Figura 27.** Residuo de la ecuación polinómica de grado 3.

**ANEXO D: Panel fotográfico****Figura 28.** Medición del diámetro de cañas.**Figura 29.** Marcado de cañas para el raleo.



**Figura 30.** Registro de datos de las variables en investigación.



**Figura 31.** Poda de ramas de las cañas de bambú.



**Figura 32.** Raleo de cañas para las mediciones de contenido de humedad, biomasa y CO<sub>2</sub>.



**Figura 33.** Mediciones del diámetro para las ecuaciones alométricas (a).



**Figura 34.** Mediciones del diámetro para las ecuaciones alométricas (b).



**Figura 35.** Medición del largo de caña para las ecuaciones alométricas.



**Figura 36.** Seccionamiento de cañas para el cálculo del contenido de humedad.



**Figura 37.** Secciones de caña para las mediciones de peso fresco y su transporte a horno.



**Figura 38.** Obtención de ramas y hojas para la obtención del peso fresco y llevar al horno.



**Figura 39.** Colocación del letrero en el área de investigación junto al asesor.



**Figura 40.** Visita del miembro del jurado de tesis al área de investigación (a).



**Figura 41.** Visita del miembro del jurado de tesis al área de investigación (b).



**Figura 42.** Visita del miembro del jurado de tesis al área de investigación (c).



**Figura 43.** Visita del miembro del jurado de tesis al área de investigación (d).