

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL**



**BIOMASA AÉREA TOTAL DE UNA PLANTACIÓN DE *Guazuma crinita*  
(BOLAINA BLANCA) EN EL DISTRITO DE LUYANDO, LEONCIO  
PRADO.**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO FORESTAL**

**PRESENTADO POR:**

**JESUS ANTONIO CALIZAYA SABINO**

**2025**



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°108-2025-FRNR-UNAS**

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 02 de octubre de 2025, a horas 07:00 p.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería en Forestal de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“BIOMASA AÉREA TOTAL DE UNA PLANTACIÓN DE *Guazuma crinita* (BOLAINA BLANCA) EN EL DISTRITO DE LUYANDO, LEONCIO PRADO”**

Presentado por el Bachiller: **CALIZAYA SABINO, JESUS ANTONIO** después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de “MUY BUENA”.

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

Tingo María, 10 de octubre de 2025

**Ing. MSc. ROBERT GILBERT PECHO DE LA CRUZ**  
PRESIDENTE

**Ing. JORGE LUIS VERGARA PALOMINO**  
MIEMBRO



**Ing. MSc. GUNTER DAZA PANDURO**  
MIEMBRO

**Ing. MSc. BRAYAN ANDRE CALDAS DE LA CRUZ**  
ASESOR

**Ing. MSc. CLEIDE SANTOS FLORES**  
ASESOR



UNAS

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO REPOSITORIO INSTITUCIONAL

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"  
"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

## CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 345 - 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 Forestal

### Tipo de documento:

Tesis  X Trabajo de Suficiencia Profesional

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE	
		SIMILITUD	CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL
BIOMASA AÉREA TOTAL DE UNA PLANTACIÓN DE Guazuma crinita (BOLAINA BLANCA) EN EL DISTRITO DE LUYANDO, LEONCIO PRADO	JESUS ANTONIO CALIZAYA SABINO	12 % Doce	Menor a 20 %

Tingo María, 31 de octubre 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 FORESTAL**



Título : Biomasa aérea total de una plantación de *Guazuma crinita* (bolaina blanca) en el distrito de Luyando, Leoncio Prado.

Área : Gestión de Bosques y Plantaciones Forestales

Grupo de investigación : Gestión de Bosques y Plantaciones Forestales

Línea de investigación : Biomasa y ecología forestal

Autor : CALIZAYA SABINO, Jesus Antonio

Asesor(es) : Ing. M. Sc. CALDAS DE LA CRUZ, Brayan Andre  
Ing. M. Cs. SANTOS FLORES, Cleide

Lugar de ejecución : Luyando – Leoncio Prado

Duración del trabajo : 11 meses Fecha de inicio: Febrero  
Fecha termino: Diciembre

Financiamiento : 3,847.80

FEDU : NO

Propio : SI

Otros : NO

Tingo María – Perú  
Septiembre, 2025

## DEDICATORIA

A Dios, por el obsequio de la vida, Él siempre estuvo en todo momento cuidándome y guiándome con sabiduría para no dejarme vencer por los nuevos retos y adversidades de la vida.

A mis padres Jesus Napoleon Calizaya Arangoitia y Madeleine Sabino Jaimes, que me apoyan en todos los momentos de mi vida personal y en mi formación profesional sin el apoyo de ellos no los hubiera logrado. Ustedes son la raíz de este logro, mi ejemplo de lucha y dedicación. Todo lo que soy se construyó sobre el esfuerzo que hicieron por mi.

A mis hermanas: Sharon y Karen por acompañarme en esta y cada etapa de mi vida. A mis tías porque siempre permanecieron cerca brindándome su apoyo.

A ti, Nixi Karol Navarro Meza, mi compañera de vida, gracias por tu paciencia, tu amor incondicional y tu apoyo en cada paso de este proyecto.

## AGRADECIMIENTOS

- A mi alma mater, Universidad Nacional Agraria de la Selva y a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal, por ser fuente de aprendizaje que me transmitieron durante en mi etapa académica.
- A mis asesores, Ing. M. Sc. Brayan André Caldas de la Cruz y M. Cs. Cleide Santos Flores, por compartir su sabiduría y conocimientos en el desarrollo del trabajo de investigación.
- Al personal administrativo, al Laboratorio de Certificación de Semillas Forestales-FRNR por su disposición, colaboración y por facilitarme los recursos necesario en momentos clave del desarrollo de mi trabajo.
- A mis amigos universitarios, Gustavo Miguel Villar Paima, Aderlin Juan Carlos Gonzales Santamaria, Harold Salazar Puma y a todas las personas que me apoyaron e hicieron posible la ejecución del presente trabajo de Tesis, a todos ellos mi agradecimiento.
- A todas las personas que aportaron en mi formación academia y personal, gracias por ser parte de este camino.

## INDICE

	Página.
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1. Marco teórico .....	3
2.1.1. Descripción de la especie <i>Guazuma crinita</i> Mart.....	8
2.1.2. Biomasa .....	3
2.1.3. Biomasa vegetal total.....	4
2.1.4. Captura de carbono en las plantas .....	5
2.1.5. Influencia de los árboles en la variación del clima.....	6
2.1.1. Métodos para estimar la biomasa .....	7
2.2. Estado del arte .....	10
III. MATERIALES Y METODOS .....	18
3.1. Lugar de ejecución .....	18
3.1.1. Ubicación política.....	18
3.1.2. Ubicación geográfica .....	18
3.2. Material y métodos .....	18
3.2.1. Materiales y equipos .....	18
3.2.2. Metodología.....	19
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	24
4.1. Biomasa aérea por componente (fuste, ramas, hojas) en una plantación de <i>Guazuma crinita</i> .....	24
4.1.1. Biomasa por componente (fuste, ramas y hojas).....	24
4.1.2. Modelos de ajuste de regresión para la biomasa .....	29
4.1.3. Cuantificación de la biomasa aérea por parcela y en t/ha.....	31
4.2. Biomasa de herbácea por superficie en una plantación de <i>Guazuma crinita</i> .....	34
4.3. Cuantificar la biomasa de hojarasca por superficie en una plantación de <i>Guazuma crinita</i> .....	36

V. CONCLUSIONES.....	39
VI. PROPUESTAS A FUTURO .....	40
VII. REFERENCIAS .....	41
ANEXO .....	46

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Pagina</b>
1. Estadísticos descriptivos de biomasa aérea por componente y total (kg).....	25
2. Modelos de ajuste de regresión generado a partir del DAP y la altura .....	30
3. Estimación de la biomasa a t/ha .....	32
4. Biomasa de herbácea (t/ha) por subparcela .....	34
5. Biomasa de herbácea (t/ha) por subparcela .....	37
6. Variables dasométricas de los árboles de la subparcela N° 1 .....	47
7. Variables dasométricas de los árboles de la subparcela N° 2 .....	48
8. Variables dasométricas de los árboles de la subparcela N° 3 .....	49
9. Variables dasométricas de los árboles de la subparcela N° 4 .....	50
10. Pesos de herbácea de la subparcela N° 1 .....	51
11. Pesos de herbácea de la subparcela N° 2 .....	51
12. Pesos de herbácea de la subparcela N° 3 .....	51
13. Pesos de herbácea de la subparcela N° 4 .....	52
14. Pesos de hojarasca de la subparcela N° 1 .....	52
15. Pesos de hojarasca de la subparcela N° 2 .....	52
16. Pesos de hojarasca de la subparcela N° 3 .....	53
17. Pesos de hojarasca de la subparcela N° 4 .....	53

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Pagina</b>
1. Diseño de parcelas de muestreo para la biomasa vegetal total.....	19
2. Diseño de las zonas para evaluar la biomasa arbórea viva y biomasa arbustiva y herbácea. .....	21
3. Diagrama de Box Plot para la biomasa del fuste, ramas y hojas.....	26
4. Porcentaje de biomasa de fuste, ramas y hojas en <i>Guazuma crinita</i> .....	27
5. Carbono aéreo total por parcela y total.....	32
6. Biomasa herbácea (t/ha) en las diferentes subparcelas.....	35
7. Biomasa hojarasca (t/ha) en las diferentes subparcelas.....	37
8. Delimitación de las parcelas de <i>Guazuma crinita</i> .....	54
9. Instalación del banner de la tesis .....	54
10. Visita de los miembros del jurado a la verificación de la tesis .....	55
11. Apeado de los árboles seleccionados.....	55
12. Trozado del fuste de <i>Guazuma crinita</i> para su pesaje.....	56
13. Peso fresco del fuste .....	56
14. Separación de las hojas y ramas de <i>Guazuma crinita</i> .....	57
15. Peso fresco de las ramas y hojas.....	57
16. Colecta de hojarasca .....	58
17. Peso seco de las submuestras del fuste de <i>Guazuma crinita</i> .....	58
18. Peso seco de la muestra de las ramas y hojas .....	59

## RESUMEN

El objetivo es cuantificar la biomasa aérea, herbácea y de hojarasca en una plantación de *Guazuma crinita* (bolaina blanca) ubicada en el distrito de Luyando, provincia de Leoncio Prado, Huánuco. La investigación se desarrolló en una plantación de 18 años de edad, estableciendo cuatro subparcelas de 50 × 20 m. Para la biomasa aérea se realizó un muestreo destructivo de nueve árboles, que fueron seccionados en fuste, ramas y hojas; la biomasa herbácea se evaluó mediante cuadrantes de 1 × 1 m y la biomasa de hojarasca con marcos de 0,5 × 0,5 m; todas las muestras fueron secadas en estufa hasta peso constante y procesadas con fórmulas estandarizadas. Los resultados indicaron que la biomasa aérea alcanzó un promedio de 291,27 kg por individuo, equivalente a 126,71 t/ha, distribuyéndose en fuste (227,14 kg; 77,9%), ramas (57,17 kg; 19,6%) y hojas (6,97 kg; 2,4%). La biomasa herbácea presentó un promedio de 0,09 t/ha y la biomasa de hojarasca alcanzó 0,53 t/ha. Se concluye que *Guazuma crinita* concentra la mayor proporción de biomasa en el fuste, constituyéndose en el principal reservorio de carbono en la plantación, mientras que la biomasa herbácea y la hojarasca representan aportes secundarios pero importantes para el reciclaje de nutrientes y la dinámica del ecosistema.

**Palabras claves:** Plantaciones forestales, biomasa aérea, biomasa de hojarasca

## ABSTRACT

The study aimed to quantify the aboveground, herbaceous, and litter biomass in a *Guazuma crinita* (bolaina blanca) plantation located in the district of Luyando, province of Leoncio Prado, Huánuco. The research was carried out in an 18-year-old plantation, establishing four subplots of 50 × 20 m. For aboveground biomass, a destructive sampling of nine trees was performed, which were sectioned into stem, branches, and leaves; herbaceous biomass was evaluated using 1 × 1 m quadrants, and litter biomass with 0.5 × 0.5 m frames. All samples were oven-dried to constant weight and processed with standardized formulas. The results indicated that aboveground biomass reached an average of 291.27 kg per individual, equivalent to 126.71 t/ha, distributed in stem (227.14 kg; 77.9%), branches (57.17 kg; 19.6%), and leaves (6.97 kg; 2.4%). Herbaceous biomass averaged 0.09 t/ha, while litter biomass reached 0.53 t/ha. It is concluded that *Guazuma crinita* concentrates the highest proportion of biomass in the stem, making it the main carbon reservoir in the plantation, while herbaceous biomass and litter represent secondary but relevant contributions to nutrient recycling and ecosystem dynamics.

**Keywords:** Forest plantations, aboveground biomass, litter biomass

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la degradación de los bosques ha estado en una tendencia de forma creciente, por esta razón se estaría deteriorando los ecosistemas lo que conlleva al calentamiento global por efecto de los gases de efecto invernadero, por tal motivo urge la necesidad de cuantificar la biomasa en otros ecosistemas forestales como son las plantaciones forestales también llamados bosques artificiales.

La cuantificación directa de la biomasa vegetal es esencial para comprender y gestionar eficazmente los ecosistemas, especialmente en el contexto de la conservación y el manejo sostenible de los recursos naturales. Leoncio Prado no es ajeno a esta situación, ya que con el tiempo se han generado plantaciones de bolaina por su rápido crecimiento, sin embargo, la ausencia de información detallada sobre la biomasa vegetal estudio dificulta la toma de decisiones informadas en términos de conservación y manejo sostenible. La falta de información específica sobre la distribución de la biomasa en diferentes componentes vegetales, así como la escasez de estudios que utilicen métodos destructivos, plantea un desafío para desarrollar estrategias eficientes de gestión y conservación. Bajo este escenario se genera la siguiente interrogante ¿Cuánto será la biomasa aérea total de una plantación de *Guazuma crinita* Mart (bolaina blanca) en el distrito de Luyando, Leoncio Prado?

Este estudio es importante en el contexto actual de la gestión ambiental, ya que proporcionará datos valiosos sobre la biomasa vegetal que son fundamentales para la toma de decisiones informadas. La aplicación de métodos destructivos permitirá una evaluación detallada de la biomasa en diferentes componentes, ofreciendo una visión más completa y precisa de la ecología del área de estudio. Los resultados contribuirán directamente a la planificación de estrategias de conservación y manejo sostenible, así como a la generación de conocimientos aplicados para la región.

La investigación se centrará en obtener información detallada sobre la distribución de la biomasa en una plantación de *Guazuma crinita*. Además, se busca entender las implicaciones de esta distribución para la gestión sostenible y la optimización de beneficios en las plantaciones forestales. Asimismo, se espera que los resultados obtenidos proporcionen información fundamental para mejorar las prácticas de gestión y conservación en estas plantaciones forestales.

**Objetivo general**

Cuantificar la biomasa aérea total de una plantación de *Guazuma crinita* (bolaina blanca) en el distrito de Luyando, Leoncio Prado.

**Objetivos específicos**

- Cuantificar la biomasa arbórea por componente (fuste, ramas, hojas) en una plantación de *Guazuma crinita*.
- Cuantificar la biomasa de herbácea por superficie en una plantación de *Guazuma crinita*.
- Cuantificar la biomasa de hojarasca por superficie en una plantación de *Guazuma crinita*.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Marco teórico

#### 2.1.1. Biomasa

Se denomina biomasa a la fracción de materia orgánica acumulada en los diversos componentes de la vegetación dentro de un área determinada, constituida por el peso seco de dicha materia tanto en la parte aérea como subterránea (Fonseca et al., 2009). La cuantificación y monitoreo de este componente en los ecosistemas boscosos resulta fundamental para estimar las emisiones de carbono y la tasa anual de captura de dióxido de carbono, desempeñando así un papel crucial en las estrategias de mitigación del cambio climático. Además, la evaluación de la biomasa permite una valoración más precisa de los servicios ecosistémicos que proveen los bosques (Cifuentes, 2010; Cuenca et al., 2014).

La dinámica de acumulación y distribución de biomasa presenta variaciones significativas entre especies, estando influenciada por múltiples factores como la calidad del sitio, la edad, el desarrollo del rodal, las prácticas silvícolas aplicadas y la densidad de la masa forestal, entre otros. Adicionalmente, la distribución de biomasa no es homogénea dentro del individuo, mostrando notables diferencias entre los diversos componentes estructurales del árbol (Figuroa et al., 2010; Rodríguez et al., 2012).

La magnitud de la biomasa forestal varía significativamente en función de la composición florística y la estructura de la vegetación, así como de los procesos biológicos del ecosistema, particularmente aquellos vinculados con la disponibilidad hídrica. Este parámetro es empleado como un indicador fundamental para cuantificar los reservorios de carbono y las emisiones de sustancias perjudiciales para la capa de ozono y el ambiente en general.

En los ecosistemas boscosos, la descomposición mediante combustión de componentes como hojas, ramas, corteza, tallos y raíces constituye una vía primaria de liberación de compuestos dañinos para la ozonósfera. Esta relación subraya la imperante necesidad de implementar estrategias de conservación y manejo forestal sostenible, con el objetivo de preservar la integridad de la biomasa arbórea y, por consiguiente, mitigar la emisión de dichos agentes contaminantes (Chapin et al., 2005).

### 2.1.1.1. Metodología para estimar biomasa.

A escala global, se han implementado diversas estrategias para contrarrestar el calentamiento global, incluyendo la establecida mediante convenios de créditos de carbono. La ejecución efectiva de estas estrategias, a menudo materializada en proyectos forestales, requiere de la cuantificación y el monitoreo preciso del carbono almacenado, para lo cual la biomasa aérea constituye un parámetro fundamental. En este contexto, las ecuaciones alométricas de biomasa representan herramientas esenciales, ya que permiten estimar el secuestro de carbono y son ampliamente aplicables en la mayoría de los estudios orientados a evaluar la biomasa forestal en ecosistemas naturales (Higuchi et al., 1998).

La cuantificación de la biomasa aérea en árboles se realiza mediante dos enfoques metodológicos principales. El primero es el **método destructivo**, empleado para desarrollar ecuaciones biométricas y factores de expansión. Esta técnica, de carácter directo, implica la tala de uno o más individuos para pesar por separado cada componente (tronco, ramas y hojas), permitiendo extrapolar los resultados al área total de estudio.

El segundo enfoque consiste en la aplicación de **ecuaciones alométricas**, las cuales se generan a través de análisis de regresión. Estas ecuaciones establecen una relación matemática entre variables de fácil medición en campo (como el diámetro del árbol) y las propiedades de interés (como la biomasa), eliminando así la necesidad de mediciones destructivas o directas de las dimensiones finales. De este modo, la biomasa total acumulada de una especie arbórea puede ser estimada de manera precisa midiendo únicamente su diámetro (Higuchi et al., 1998).

## 2.1.2. Biomasa aérea

### 2.1.2.1. Biomasa arbórea

De acuerdo con Pons (2005), los árboles funcionan como sumideros de carbono a largo plazo, acumulándolo en sus tejidos leñosos, lo que se conoce como reservorios de carbono. El concepto de biomasa se refiere precisamente a la fracción de carbono retenido en la vegetación, representando toda la materia orgánica presente en un ecosistema forestal. Esta materia orgánica se origina predominantemente del proceso de fotosíntesis, mediante el cual se sintetizan compuestos orgánicos utilizando dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) atmosférico y energía lumínica.

Según Gayoso (2002), la biomasa aérea se compone de las hojas, ramas y tallo, cuya distribución porcentual varía según la especie y las dimensiones de cada componente. En ecosistemas siempreverdes, los estudios de especies nativas indican que la biomasa promedio del tallo con corteza representa entre el 72,80% (DE = 28,88) en una conífera nativa (PN) y el 93,29% (DE = 36,04) en la especie *Tineo* (WT) de la biomasa total sobre el suelo. Por otro lado, las especies caducifolias alcanzaron valores aún más elevados, entre el 85,63% (DE = 24,56) para NA y el 88,43% (DE = 31,43).

#### **2.1.2.2. Biomasa herbácea**

Herrera (2002) señala que esta biomasa de componentes menores está constituida por vegetación de escasa altura y diámetro, como hierbas y enredaderas. No obstante, la metodología de evaluación para este componente varía sustancialmente según los objetivos del estudio, debiendo adaptarse específicamente al tipo de producto o variable que se pretende cuantificar.

#### **2.1.2.3. Biomasa en la hojarasca**

Según Rüginitz (2009), este componente corresponde a la biomasa derivada de la descomposición de la vegetación forestal, específicamente a la materia orgánica foliar acumulada en el suelo del área de estudio. Su cuantificación se realiza mediante la colecta sistemática de este material en parcelas definidas y submuestras, cuya caracterización final se determina a través de análisis de laboratorio.

Cotrufo (2010) comenta que la etapa de descomposición de la materia orgánica, en este caso de la hojarasca, se da mientras reduce progresivamente las partículas de su estructura, al punto que estas partículas ya no existan, además intervienen componente como el agua, dióxido de carbono y otros minerales. Posteriormente, se desarrollan productos orgánicos y se libera carbono orgánico al suelo.

#### **2.1.3. Captura de carbono en las plantas**

Vallejo (2005) describe este proceso como el mecanismo mediante el cual se almacena carbono (C), resultante de la absorción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) atmosférico durante la fotosíntesis. En este proceso, el CO<sub>2</sub> se fija y se incorpora a la estructura molecular de compuestos fundamentales como la glucosa, los cuales son utilizados para el desarrollo de la planta. Finalmente, el carbono se almacena en forma de biomasa, tanto en la parte aérea de la

planta como en los tejidos subterráneos o el suelo.

En la actualidad, los ecosistemas forestales de zonas templadas y tropicales tienen la capacidad de almacenar y conservar carbono (C), participando con aproximadamente el 90% del flujo anual de este elemento entre la atmósfera y el suelo. La cuantificación del carbono se realiza mediante la estimación de la biomasa en estos sistemas forestales. Los monitoreos, aplicables a cualquier ecosistema, generan información crucial para determinar el potencial de almacenamiento de las regiones boscosas en relación con diversos parámetros ambientales.

#### **2.1.4. Influencia de los árboles en la variación del clima**

De acuerdo con el IPCC (2007), en épocas recientes se han observado variaciones significativas en componentes climáticos clave como la temperatura y el régimen de precipitaciones, las cuales generan impactos discernibles en los patrones meteorológicos y climatológicos globales. Estas alteraciones son atribuidas en gran medida a las actividades humanas, que producen Gases de Efecto Invernadero (GEI) los cuales inciden directamente en la modificación del clima. Asimismo, diversos estudios establecen una correlación entre la variabilidad climática interanual y los efectos derivados del cambio climático a largo plazo. La concentración de GEI ha exhibido una tendencia alcista sostenida en décadas pasadas, motivando un aumento en la investigación científica que ha corroborado su influencia en la alteración del clima. Dichos estudios advierten que la proliferación continua de estos gases podría alcanzar un punto de inflexión crítico para los sistemas planetarios.

Según Vargas (2009), el impacto de los gases de efecto invernadero ya es evidente a nivel global, manifestándose particularmente en la reducción de las masas glaciares. Investigaciones previas indican que hasta un 22% de estos glaciares se ha perdido, siendo las formaciones de menor tamaño las más afectadas. Esta situación genera graves implicancias para el futuro abastecimiento hídrico, dado que los glaciares constituyen la principal fuente de alimentación de los ríos a nivel mundial.

Proyecciones para el año 2025 estiman que nuestro país enfrentaría una reducción significativa de glaciares por debajo de los 5500 msnm. Cabe destacar que, aunque la temporada de lluvias contribuye al suministro de agua, durante los períodos de estiaje el recurso hídrico depende críticamente de los ríos peruanos, los cuales a su vez son sustentados por el derretimiento de las masas glaciares.

Se conoce que por cada kilogramo de carbono (C) capturado en la biomasa arbórea,

equivalen 3,67 kilogramos de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) removidos de la atmósfera. Tanto las plantaciones comerciales como los bosques naturales actúan como sumideros de carbono a largo plazo. No obstante, la acumulación de biomasa en el sector forestal se ve influenciada por diversos factores, entre los que destacan las condiciones climáticas, las características edáficas del terreno y las perturbaciones de origen antropogénico. Debido a esta variabilidad, los inventarios forestales emergen como una herramienta fundamental para cuantificar con precisión la biomasa presente en el material leñoso (Balboa et al., 2006; Gómez-García, Pérez et al., 2015).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2007) enfatiza el papel fundamental de la biomasa forestal en los estudios sobre las dinámicas atmosféricas, ya que su cuantificación permite estimar las variaciones en las concentraciones de carbono (C). Esta biomasa se determina principalmente mediante la medición del carbono almacenado en los ecosistemas boscosos, los cuales cumplen una función crucial en el ciclo biológico al absorber dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) atmosférico durante la fotosíntesis. En este proceso, las plantas transforman el CO<sub>2</sub> en carbohidratos, los cuales se incorporan estructuralmente en sus tejidos vegetales, contribuyendo así al crecimiento y acumulación de biomasa.

#### **2.1.5. Métodos para estimar la biomasa**

La evaluación de la biomasa ya sea mediante cuantificación o estimación, constituye la fase inicial para analizar la productividad de los ecosistemas y comprender la contribución de los bosques tropicales al ciclo global del carbono (Castañeda et al., 2005).

##### **2.1.5.1. Método indirecto**

La determinación de la biomasa arbórea se realiza mediante ecuaciones alométricas o modelos matemáticos desarrollados a través de análisis de regresión. Estos modelos establecen relaciones entre variables dendrométricas como el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura total (ht), la altura comercial (hc), el crecimiento diamétrico, el área basal y la densidad específica de la madera. Alternativamente, puede estimarse a partir del volumen del fuste, aplicando posteriormente la densidad básica de la madera para obtener el peso seco, y utilizando un factor de expansión para calcular la biomasa total del árbol (Fonseca et al., 2017).

##### **2.1.5.2. Método directo o destructivo**

Este método, denominado destructivo, se basa en la cosecha y medición directa de componentes arbóreos específicos (ramas, tallo, hojas) para obtener valores precisos

de biomasa aérea. Al destruir los árboles muestrales y determinar su peso seco, es posible establecer relaciones alométricas confiables entre la biomasa y variables dendrométricas de fácil medición en campo, como el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura total, la altura comercial, entre otras (Álvarez, 2008).

### **2.1.6. Descripción de la especie *Guazuma crinita* Mart.**

#### **2.1.6.1. Taxonomía**

De acuerdo con Reynel et al. (2003), la categorización se realiza de la siguiente manera:

Orden	: Malvales
Familia	: Sterculiaceae
Subfamilia	: Byttnerioideae
Genero	: Guazuma
Especie	: <i>Guazuma crinita</i> Mart.
Nombre vulgar	: Bolaina Blanca

#### **2.1.6.2. Descripción botánica**

Según la descripción de Reynel et al. (2003), esta especie se distingue por un fuste de sección circular con dimensiones que oscilan entre 25 y 80 cm de diámetro y una altura total de entre 15 y 30 metros. Presenta una copa de morfología aplanada, localizada en el tercio superior del árbol. La corteza externa exhibe una coloración que varía entre gris y negro, y su superficie se encuentra marcada por grietas y fisuras. Internamente, la corteza está compuesta por numerosas laminillas de las cuales es posible obtener tiras alargadas. En individuos de mayor diámetro, se diferencian dos capas: una externa, de contextura fibroso-compacta, y otra interna, de consistencia fibroso-laminar; ambas presentan una tonalidad color crema.

La especie se identifica por su follaje de hojas simples, alternas y dísticas. Estas hojas presentan una morfología ovada, generalmente asimétrica, con el margen aserrado y una nerviación de tipo palmeada. Sus dimensiones promedio oscilan entre 10 y 18 cm de longitud y de 5 a 7 cm de ancho. El peciolo, de característica pulvinulada, mide entre 1,5 y 2,0 cm.

El ápice foliar es agudo y acuminado, mientras que la base tiene forma cordada.

Una pubescencia de pelos estrellados y escamosos cubre la lámina, siendo esta densa y particularmente notable en la totalidad del envés. Los nervios secundarios son prominulos, una característica observable tanto en el haz como en el dorso de la hoja.

Las inflorescencias corresponden a panículas axilares que miden entre 8 – 12 cm de largo y 3 – 6 cm de ancho, y están compuestas por una multitud de flores. Estas flores son pequeñas (8 – 12 mm), hermafroditas, y presentan tanto cáliz como corola. La corola, de color rosado y entre 6 – 12 mm de longitud, está constituida por cinco pétalos con una morfología similar a una cuchara, cada uno culminando en dos apéndices largos. Los pedicelos florales miden 4 – 8 mm, mientras que el cáliz alcanza entre 2 y 3 mm de longitud. La estructura reproductiva incluye un androceo con cinco columnas estaminales que sostienen numerosas anteras en su ápice, y un gineceo con un ovario súpero, ovoide y de reducidas dimensiones. El fruto es una cápsula globosa de 4-8 mm de diámetro, caracterizada por una superficie recubierta de densos pelos largos que miden aproximadamente 3 – 4 cm (Reynel et al., 2003).

#### **2.1.6.3. Distribución y hábitat**

Su distribución geográfica abarca una extensa área del Neotrópico, desde Centroamérica a lo largo de la región amazónica, extendiéndose hasta el sur de Brasil y Bolivia. En el Perú, la especie está presente en los departamentos de Amazonas, Huánuco, Junín, Loreto, Madre de Dios, Pasco, San Martín y Ucayali, donde se desarrolla en un rango altitudinal que va desde el nivel del mar hasta los 1000 metros. En términos de abundancia poblacional, es menos común en la Amazonía central peruana, mientras que se encuentra en densidades medias en la Amazonía sur del país (Reynel et al., 2003).

#### **2.1.6.4. Usos**

Tiene buena durabilidad; se usa en carpintería, elaboración de utensilios pequeños como paletas de chupetes, mondadientes, palos de fósforos, artesanía, y crecientemente en la industria de los tableros contrachapados. La corteza interna fibrosa es empleada localmente como material de amarre (Reynel et al. 2003). También es utilizada en traslapados, embalajes, molduras, puertas sólidas, cajas de espárragos, muebles y madera aserrada; además tiene aptitud para ser utilizada en pulpa para papel, juguetería y tablero de partículas.

## 2.2. Estado del arte

En la Selva Central del distrito de San Ramón, Soriano (2024) determinó que *Guazuma ulmifolia* (bolaina) presenta una biomasa de 62,2 t/ha y un almacenamiento de carbono de 31.1 t/ha, valores obtenidos mediante extrapolación de mediciones en 1111 individuos (promedios de 0,056 y 0,028 t/árbol respectivamente). El estudio, apoyado en percepción remota, identificó 688.3 hectáreas con aptitud para su cultivo, destacando su adaptabilidad ecológica desde bosques secos a húmedos y su rápido crecimiento en áreas degradadas. Estos hallazgos reafirman su potencial para programas de restauración ecológica, manejo forestal sostenible y mitigación climática en la Amazonía, resaltando su dual valor productivo y ecológico.

En un estudio realizado por Araujo (2023) en Pueblo Nuevo, Leoncio Prado (Huánuco), se evaluó la biomasa y el carbono almacenado en una plantación mixta de ocho años compuesta por *Colubrina glandulosa* (shaina) y *Vitex pseudolea* (paliperro). La biomasa arbórea se midió en parcelas de 750 m<sup>2</sup> por especie, mientras que la hojarasca se cuantificó con trampas de 1×1 m y la biomasa herbácea mediante cuadrantes de igual tamaño. Los resultados mostraron una biomasa arbórea de 232,16 kg para *C. glandulosa* y 288,73 kg para *V. pseudolea*. La biomasa herbácea varió entre 0,38–1,01 t/ha (shaina) y 0,51–1,16 t/ha (paliperro) en tres mediciones, y la hojarasca registró 1,13 t/ha y 1,07 t/ha, respectivamente. El carbono total almacenado alcanzó 43,09 t/ha para shaina y 62,96 t/ha para paliperro, demostrando el potencial de estas especies en sistemas de reforestación mixta.

En una investigación de Marroquín-Morales et al. (2023) realizada en una plantación de *Tectona grandis* en Tizimín, Yucatán, se desarrollaron modelos alométricos para estimar la biomasa aérea por componentes mediante el método destructivo aplicado a 32 árboles. Cada ejemplar fue seccionado en hojas, ramas y fuste, cuantificando su peso verde y seco. Los promedios de biomasa obtenidos fueron 3,79 kg (hojas), 8,07 kg (ramas) y 10,92 kg (fuste), totalizando 22,77 kg por árbol. El modelo no lineal potencial demostró el mejor ajuste, con R<sup>2</sup> de 0,96 para fuste y biomasa total, 0,92 para hojas y 0,88 para ramas. La distribución porcentual mostró 48% de biomasa en fuste, 35% en ramas y 17% en hojas. Estos resultados validan el diámetro normal como variable predictiva clave y destacan el potencial de la teca como sumidero de carbono en agroecosistemas tropicales.

Revilla et al. (2021) desarrollaron ecuaciones alométricas para estimar la biomasa en plantaciones de *Guazuma crinita* Mart. de 31 meses de edad, con un diámetro promedio de 13,33 cm. El estudio reportó una biomasa promedio de 28,76 kg por árbol, validando la utilidad de los modelos para la cuantificación precisa de biomasa en esta especie forestal.

Revilla-Chávez et al. (2021) realizaron un estudio en plantaciones de *Guazuma crinita* en la cuenca del río Aguaytía, Ucayali, con el objetivo de generar modelos alométricos para estimar la biomasa aérea. Se evaluaron 38 árboles de 31 meses de edad, con un diámetro basal promedio de 13,33 cm y una biomasa total promedio de 28,76 kg por individuo. La biomasa fue cuantificada por componentes, encontrándose que el fuste aportó en promedio el 85 %, seguido por las ramas con 13 % y las hojas con 3 %. Entre los modelos generados, el de tipo potencial presentó el mejor ajuste, con la ecuación  $B_{madab} = 0,04253 \cdot dab^{2,5027}$  y un coeficiente de determinación de  $R^2 = 0,94$ . Este resultado confirma la fuerte relación entre el diámetro basal y la biomasa aérea en la especie. Los hallazgos demuestran la importancia de utilizar modelos alométricos específicos por especie y sitio, ya que permiten obtener estimaciones más confiables de biomasa y carbono en plantaciones jóvenes de bolaina blanca.

Fonseca González et al. (2019) realizaron un estudio en Costa Rica para desarrollar modelos alométricos de biomasa y carbono en *Cupressus lusitanica* Mill. Se aplicó un muestreo destructivo a 43 árboles, separando fracciones para obtener materia seca y ajustar modelos de regresión simple con el diámetro normal como variable independiente. Los modelos alcanzaron  $R^2$  superiores a 83,8 % y sesgos menores a 7,2 %. El fuste concentró 61,7 % de la biomasa, seguido de ramas con 17,1 % y raíces con 9,1 %. Las fracciones de hojas y raíces presentaron menor ajuste y mayor error. Los factores de expansión fueron 1,54 para biomasa aérea y 1,12 para raíces. Los autores concluyeron que los modelos alométricos predicen con precisión la biomasa y el carbono, constituyendo herramientas útiles y de fácil aplicación para evaluar el potencial de mitigación de gases de efecto invernadero en plantaciones forestales de *Cupressus lusitanica*.

Jiménez et al. (2020) cuantificaron el carbono almacenado en una plantación de *Tectona grandis* L. f. mediante el desarrollo de ecuaciones alométricas basadas en variables dasométricas. Utilizando análisis de regresión, se ajustaron modelos que permitieron estimar indirectamente el carbono arbóreo. La plantación, de 11 años de edad, presentó una densidad de 1,666 árboles por hectárea, un volumen de madera de 220,29 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> y una densidad básica de 0,59 g cm<sup>-3</sup>. El carbono almacenado alcanzó 77,20 toneladas por hectárea. Los autores

concluyen que la ecuación generada es aplicable en plantaciones con condiciones bioclimáticas similares, destacando su utilidad para evaluar el potencial de las plantaciones comerciales como proveedoras de servicios ambientales, particularmente en la mitigación de emisiones de CO<sub>2</sub>.

En un estudio realizado por García et al. (2019), se evaluó el carbono y dióxido de carbono almacenado en una plantación de *Tectona grandis* de 4 y 5 años de edad en México. Los datos fueron recolectados en 2017 en una superficie de 50,000 m<sup>2</sup>, midiendo variables dasométricas en cada árbol, incluidos diámetros a 0.3 m (d0.3), diámetro a la altura del pecho (d1.3), y diámetros cada dos metros (d2 a d14) hasta la altura total, utilizando un dendrómetro Criterion RD 1000®. Los resultados mostraron un almacenamiento de carbono de 18,09 ton/ha a los 4 años y 29.2 ton/ha a los 5 años, mientras que el CO<sub>2</sub> almacenado fue de 66,42 ton/ha y 107,17 ton/ha respectivamente. Este estudio destaca el rápido crecimiento de la teca como sumidero de carbono en etapas tempranas.

Zavala et al. (2018) evaluaron la biomasa y el carbono almacenado en un sistema agroforestal de café (*Coffea arabica*) en el cafetal de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. El estudio se realizó en cinco hectáreas, mediante transectos y muestreos de campo complementados con análisis de laboratorio. La biomasa total registrada fue de 219,43 t/ha, distribuida en 148,10 t/ha en árboles vivos, 51,39 t/ha en café, 12,49 t/ha en hojarasca y 7,45 t/ha en arbustos. En cuanto al carbono, se cuantificaron 25,17 t C/ha en el componente arbóreo, 8,42 t C/ha en café, 1,90 t C/ha en hojarasca, 0,95 t C/ha en arbustos y 148,24 t C/ha en el suelo, alcanzando un total de 184,68 t C/ha. El mayor aporte correspondió al suelo, mientras que el arbustivo fue el de menor contribución. Los autores destacaron que la edad del cultivo de café influye en el secuestro de carbono y plantearon la necesidad de definir curvas de mayor acumulación de CO<sub>2</sub> en sistemas agroforestales.

En la Sierra de Santa Rosa, Guanajuato (México), Cortés-Sánchez et al. (2019) desarrollaron ecuaciones alométricas para estimar la biomasa aérea de seis especies de encino: *Quercus rugosa*, *Q. obtusata*, *Q. sideroxyla*, *Q. coccolobifolia*, *Q. laurina* y *Q. candicans*. Mediante muestreo destructivo de 165 árboles, se cuantificó la biomasa por componentes: fuste (60.6%), ramas (36.1%) y follaje (3.28%). Los modelos ajustados explicaron >95% de la variabilidad de la biomasa total, con R<sup>2</sup> elevados. Se generaron ecuaciones generalizadas para todas las especies, así como modelos específicos por grupo y especie, los cuales mostraron menor sesgo comparado con ecuaciones de otras regiones. El estudio resaltó la relevancia del diámetro normal, altura total y densidad de la madera para

estimaciones precisas en ecosistemas de encino.

López et al. (2017) evaluaron el carbono almacenado en la biomasa aérea de plantaciones de *Tectona grandis* en Chahal, Guatemala, con edades de 14 y 15 años. Utilizando el método del Instituto Internacional Winrock, se generó un modelo de regresión mediante muestreo destructivo de árboles representativos de distintas clases diamétricas. Se midieron variables como DAP, altura total, diámetro de copa, dimensiones de trozas y pesos fresco/seco de fuste, ramas y hojas. Los resultados mostraron un almacenamiento de biomasa aérea de 108,36 t/ha a los 14 años y 151,37 t/ha a los 15 años, evidenciando el significativo potencial de captura de carbono de la teca en etapas maduras. Este enfoque metodológico permite estimaciones robustas para el manejo sostenible de plantaciones forestales.

En un estudio realizado por Soriano et al. (2015) en Zacualtipán, Hidalgo (México), se cuantificó la biomasa aérea por componente estructural en *Pinus patula* y 11 especies latifoliadas del bosque mesófilo de montaña. Mediante muestreo destructivo de 25 individuos de pino y 46 de latifoliadas, cubriendo un amplio rango de tamaños, se determinó que en *P. patula* la biomasa se distribuía en 68,2% en fuste, 14,3% en ramas, 9,3% en corteza y 8,2% en follaje. Se observó que al aumentar el tamaño del árbol, la proporción de fuste y corteza incrementaba, mientras que la de follaje disminuía. Los modelos ajustados siguieron la forma  $B = \text{Exp}(-\beta_0) \cdot (\text{dn}^2 \cdot h)^{\beta_1}$ , utilizando diámetro normal (dn) y altura total (h), logrando alta precisión predictiva. La inclusión de la altura mejoró el poder explicativo de las ecuaciones, y el ajuste simultáneo de componentes por regresión no lineal aseguró coherencia entre la suma de partes y la biomasa total. Los autores concluyeron que estas ecuaciones son robustas y aplicables para estimar biomasa y carbono en bosques con características ecológicas similares.

En una investigación realizada por Rueda Sánchez et al. (2014) en Jalisco, México, se analizó la producción de biomasa y la captura de carbono en plantaciones de 12 años de *Cedrela odorata* y *Swietenia macrophylla*. El estudio involucró el muestreo destructivo de 15 árboles por especie, segmentados en fuste, brazuelo, ramas y follaje para determinar el peso seco y la biomasa total individual. Los resultados revelaron que *C. odorata* presentó un promedio de 34 kg de biomasa por árbol, distribuida en 75% (fuste), 11% (brazuelo), 9% (ramas) y 5% (follaje). Por otro lado, *S. macrophylla* registró 26 kg de biomasa, con una distribución del 47% (fuste), 19% (brazuelo), 23% (ramas) y 10% (follaje). Estos datos permitieron el ajuste de ecuaciones alométricas polinomiales y potenciales utilizando el diámetro y la altura como variables predictoras, facilitando el cálculo del potencial de captura de carbono aéreo mediante un índice

específico.

Douterlungne et al. (2013) realizaron un estudio en la Selva Lacandona, México, para generar ecuaciones alométricas que estimaran biomasa y carbono en *Guazuma ulmifolia*, *Trichospermum mexicanum*, *Inga vera* y *Ochroma pyramidale*. Se cosecharon 103 árboles y se encontró que el diámetro a la altura del pecho y el diámetro basal fueron los mejores predictores, con  $R^2$  superiores a 0,90. En plantaciones monoespecíficas de dos años, la biomasa promedio fue de 6,60 Mg ha<sup>-1</sup> en *Inga vera*, 30,80 Mg ha<sup>-1</sup> en *Ochroma pyramidale*, 47,62 Mg ha<sup>-1</sup> en *Trichospermum mexicanum* y 48,12 Mg ha<sup>-1</sup> en *Guazuma ulmifolia*. Los resultados evidencian el potencial de *Guazuma* y *Trichospermum* para la captura de carbono en programas de restauración. Sin embargo, la alta variabilidad entre sitios y especies indica la necesidad de ensayos multisitio para fortalecer la aplicabilidad de las ecuaciones en contextos tropicales diversos.

En el distrito de Aguaytía, Gorbitz (2011) cuantificó el carbono almacenado en la biomasa aérea de plantaciones de *C. spruceanum* de 8 años, comparando dos estratos. La biomasa arbórea alcanzó 38,111 t ha<sup>-1</sup> en el estrato I y 77,676 t ha<sup>-1</sup> en el estrato II, mientras que la biomasa herbácea registró promedios de 1,78 t ha<sup>-1</sup> y 2,56 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. La hojarasca mostró valores de 10,482 t ha<sup>-1</sup> (estrato I) y 14,32 t ha<sup>-1</sup> (estrato II), atribuyéndose esta variación a una mayor contribución foliar de *C. spruceanum* y a una descomposición más lenta en el estrato II. El estudio evidenció diferencias significativas en la acumulación de biomasa entre estratos, resaltando factores ecológicos y estructurales en el almacenamiento de carbono.

Ruíz (2011) desarrolló un estudio en Costa Rica con el objetivo de construir modelos alométricos para la estimación de biomasa arbórea en *Alnus acuminata* (Kunth). La investigación consideró la biomasa de hojas, ramas, fuste y raíces, a partir de 47 árboles extraídos en 39 parcelas distribuidas en seis sitios del cantón de Vásquez de Coronado. Los modelos seleccionados alcanzaron un ajuste superior al 93,87% para fuste, raíces y biomasa total, mientras que para hojas y ramas el ajuste fue de 88%. Además, se determinó un factor de expansión de biomasa promedio de 1,22 para biomasa aérea y de 1,43 al incluir la raíz. Los resultados mostraron que la biomasa acumulada en las plantaciones aumentó con la edad, pasando de aproximadamente 9 Mg ha<sup>-1</sup> en rodales menores de cinco años a 77 Mg ha<sup>-1</sup> en plantaciones mayores de diez años, con un incremento medio anual de entre 2 y 6,25 Mg ha<sup>-1</sup>.

En su investigación, Anaya (2010) evaluó el almacenamiento de carbono en plantaciones de bolaina blanca (*Guazuma crinita*) de 1, 2, 4 y 5 años de edad en el distrito de Aguaytía. El estudio empleó metodologías estándar que incluyeron la selección de áreas de muestreo y la medición directa de biomasa. Los resultados mostraron que la biomasa vegetal total aumentó progresivamente con la edad: 2,62 t/ha (1 año), 26,62 t/ha (2 años), 191,17 t/ha (4 años) y 212,48 t/ha (5 años). El carbono almacenado en la biomasa siguió la misma tendencia: 1,18 t/ha (1 año), 11,98 t/ha (2 años), 86,03 t/ha (4 años) y 95,62 t/ha (5 años). Adicionalmente, el carbono total (biomasa + suelo) alcanzó 152,37 t/ha en la plantación de 1 año y 267,46 t/ha en la de 5 años, demostrando la capacidad de esta especie para acumular carbono rápidamente en etapas tempranas.

Neira (2009) llevó a cabo un estudio en Satipo (Junín) con el fin de cuantificar y comparar la biomasa y el carbono en plantaciones de *Guazuma crinita* y en asociaciones de *Guazuma crinita* con *Theobroma cacao*. Se evaluaron 41 parcelas de 100 m<sup>2</sup> bajo un muestreo estratificado al azar, considerando la biomasa en los estratos arbóreo, arbustivo, herbáceo, hojarasca y raicillas. Los resultados mostraron que las plantaciones puras de *Guazuma crinita* presentaron 43,94 t/ha de biomasa y 23,21 t/ha de carbono, mientras que en la asociación con cacao se obtuvo 19,96 t/ha de biomasa y 11,52 t/ha de carbono. Se determinó que las plantaciones puras almacenan casi el doble de biomasa y carbono que los sistemas asociados, diferencia explicada por la edad y composición de especies. En las asociaciones destacó el predominio de *Theobroma cacao* (36,11%), *Musa paradisiaca* (28,54%) y *Erythrina poeppigiana* (21,46%), mientras que *Guazuma crinita* solo representó el 4,29%. En las plantaciones puras, en cambio, la especie objetivo alcanzó el 37,92% del dosel, acompañada por *Piper angustifolium*, *Phytelephas* sp. y *Calycophyllum capirona*.

Lino (2009) desarrolló un estudio en la cuenca media del río Aguaytía, Ucayali, con el objetivo de determinar el stock de biomasa y carbono en árboles y sucesiones secundarias de bolaina blanca (*Guazuma crinita*), así como en el suelo. Se evaluaron 15 árboles para biomasa aérea seca total (BAST), de los cuales 4 también se usaron para estimar biomasa radicular seca total (BRST). Los resultados mostraron que el fuste representó el 72,1 % de la biomasa del árbol, seguido por ramas (11,9 %), raíces (11,7 %) y hojas (4,3 %). La ecuación con mejor ajuste para estimar biomasa aérea fue  $Y = 0,042394 \cdot \text{DAP}^{2,650085}$  ( $R^2 = 0,99$ ), mientras que para biomasa radicular fue  $Y = 0,201459 \cdot e^{(0,277154 \cdot \text{DAP})}$  ( $R^2 = 0,99$ ). En bolainales de 3 años se registraron 61,73 t/ha de biomasa aérea seca total y 27,77 t/ha de carbono aéreo, mientras que en los de 7 años se alcanzaron 90,19 t/ha y 40,59 t/ha respectivamente. Los valores de carbono

en suelo oscilaron entre 30,94 y 33,63 t/ha según la edad de los rodales. El estudio concluyó que la ecuación potencial basada en la edad ( $Y = 37,943456 \cdot \text{edad}^{0,472663}$ ) permite estimar la biomasa de bolainales de manera confiable.

En su investigación, Samaniego (2009) cuantificó el carbono capturado en una plantación de *Guazuma crinita* de 8 años de edad. La metodología incluyó la selección de 30 árboles muestrales, midiendo variables biométricas (diámetro y altura) tanto en pie como después del tumbado. Posteriormente, se extrajeron muestras para determinar biomasa y carbono por componentes. Los resultados mostraron una biomasa promedio por árbol de 68,484 kg, distribuida en fuste (61,939 kg), ramas (6,629 kg) y hojas (0,735 kg). El carbono total almacenado fue de 31,6437 kg por árbol, con 28,64 kg en fuste, 3,02 kg en ramas y 0,36 kg en hojas. Las fracciones de carbono fueron 0,4876 para hojas y 0,4555 para ramas, evidenciando la eficiencia de esta especie en captura de carbono en plantaciones jóvenes.

Quintana (2008) realizó un estudio en una plantación de siete años de *Quillaja saponaria* Mol., ubicada en el secano interior de Chile Central, con el fin de estimar la biomasa aérea y el contenido de carbono de la especie. Se aplicó un muestreo destructivo a 132 árboles, separando fuste, ramas y hojas, cuyo material fue secado en horno de aire forzado hasta peso constante. Se ajustaron tres modelos de regresión no lineal (de tipo logarítmico), utilizando como variables predictoras el diámetro basal y la altura total, alcanzando coeficientes de determinación superiores a 0,83. La validación se realizó mediante prueba de observaciones pareadas y análisis NSUR, logrando estimaciones aditivas y conservadoras con un error de apenas 0,3 %. Los resultados indicaron que la biomasa promedio fue de 3,66 t/ha en el fuste, 1,92 t/ha en ramas y 0,95 t/ha en hojas, con un total de 6,15 t/ha. La participación relativa por componente correspondió a 60 % en fuste, 31 % en ramas y 15 % en hojas. En cuanto al contenido de carbono, se registraron valores promedio entre 47,6 y 49,3 %, con una acumulación total de 2,98 t/ha en la plantación.

En su estudio, Baltazar (2007) evaluó el almacenamiento de carbono en una plantación de *Guazuma crinita* Martius de 1 año de edad en el distrito de Aguaytía. Los resultados mostraron una biomasa arbórea promedio de 14,99 t/ha, biomasa arbustiva/herbácea de 0,10 t/ha y biomasa de hojarasca de 6,01 t/ha, sumando una biomasa vegetal total de 21,09 t/ha. El carbono almacenado en esta biomasa vegetal fue de 9,49 t/ha, mientras que el carbono aéreo total en las plantaciones alcanzó 47,45 t/ha. Estos valores destacan la capacidad temprana de esta especie para acumular carbono, incluso en etapas iniciales de crecimiento.

Cole y Ewel (2006) realizaron un estudio en plantaciones tropicales de Costa Rica durante un período de 13 años, en el que se evaluó la biomasa de cuatro especies de importancia económica y ecológica: *Cedrela odorata*, *Cordia alliodora*, *Hyeronima alchorneoides* y *Euterpe oleracea*. Se cosecharon entre 258 y 379 individuos por especie, que fueron disecados en componentes específicos (hojas, raquis, ramas, fustes y raíces). El muestreo incluyó árboles de diversos tamaños, desde plántulas hasta individuos con diámetros superiores a 30 cm y alturas mayores a 30 m. A partir de estos datos se desarrollaron 40 ecuaciones alométricas diferenciadas por componente y especie, alcanzando altos niveles de ajuste. El trabajo evidenció que el uso de modelos específicos por especie y por componente es más preciso que los modelos globales, constituyendo un aporte significativo para la estimación de biomasa en especies tropicales bajo condiciones de alta productividad.

Figuroa et al. (2005) analizaron la concentración de carbono en árboles, determinando que el porcentaje de almacenamiento de carbono (C) en la biomasa de especies de bosques tropicales es comparable al observado en zonas templadas. El estudio señaló que un 50% de la biomasa forestal no se incluye en las estimaciones convencionales de carbono, ya que corresponde a componentes no considerados en los inventarios tradicionales. Los resultados mostraron un porcentaje promedio de carbono del 41,4% en hierbas y arbustos de cafetales (el valor más bajo), 47,0% en bosques (el más alto), y 34,6% en hierbas y arbustos de otros entornos. Estos hallazgos resaltan la necesidad de metodologías más inclusivas para cuantificar el carbono en ecosistemas forestales.

### **III. MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1. Lugar de ejecución**

##### **3.1.1. Ubicación política**

La investigación se desarrolló en una plantación de *Guazuma crinita* de 18 años de edad, localizada en el distrito de Luyando, provincia de Leoncio Prado (Huánuco). El proceso de secado de las muestras se ejecutó en el Laboratorio de Anatomía de la Madera, perteneciente a la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

##### **3.1.2. Ubicación geográfica**

Geográficamente, el área se ubicó en las coordenadas UTM 0390581.27 E; 8982264 S, a una altitud de 631 m s. n. m., en una zona característica de la ceja de selva peruana.

#### **3.2. Material y métodos**

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

###### **3.2.1.1. Material vegetativo**

El material vegetativo estuvo compuesto por diferentes partes de la especie *Guazuma crinita*, incluyendo el fuste, las ramas, las hojas, así como la vegetación herbácea y la hojarasca presentes en el área de estudio. Estos componentes fueron recolectados con el propósito de evaluar sus características estructurales y su aporte al ecosistema, considerando su relevancia en el ciclo de nutrientes y dinámica del bosque.

###### **3.2.1.2. Materiales y herramientas**

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron diversos materiales e instrumentos, entre ellos: cuadrantes de madera, rafia, machete, balanza romana, costales, bolsas de papel para la recolección de muestras, una cinta métrica de 5 metros, cinta métrica de 50 metros, tijera podadora, plumones, correctores y formatos de evaluación para el trabajo de campo.

###### **3.2.1.3. Equipos**

Los equipos utilizados incluyeron una motosierra Stihl, un dispositivo GPS (Sistema de Posicionamiento Global), una estufa eléctrica, una cámara digital, una balanza electrónica, un vernier digital Kamasa con una precisión de 0.01 mm, un clinómetro marca

Sunnco con una precisión de  $1/3^a$  y un equipo de cómputo, los cuales fueron empleados durante las diferentes etapas del estudio, especialmente para la toma de datos en campo y su posterior procesamiento en laboratorio.

### 3.2.2. Metodología

#### 3.2.2.1. Cuantificación de la biomasa arbórea de *Guazuma crinita*

Como fase inicial del estudio, se llevó a cabo la verificación de la plantación de *Guazuma crinita* (bolaina). Posteriormente, se establecieron cuatro subparcelas de 50 x 20 metros cada una, en las cuales se registraron el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura total de todos los individuos presentes.

Una vez delimitadas y evaluadas las variables dasométricas, se seleccionó el 10% de la población de cada subparcela para aplicar el método destructivo. Los árboles seleccionados fueron derribados utilizando una motosierra, y se registró la longitud total de cada uno. El fuste fue seccionado en tramos de un metro, con el fin de pesar el componente en estado fresco. De cada árbol se extrajeron tres submuestras representativas de aproximadamente un kilogramo, las cuales fueron trasladadas para su secado en estufa, a una temperatura entre 85 y 90 °C, durante un periodo aproximado de tres días.

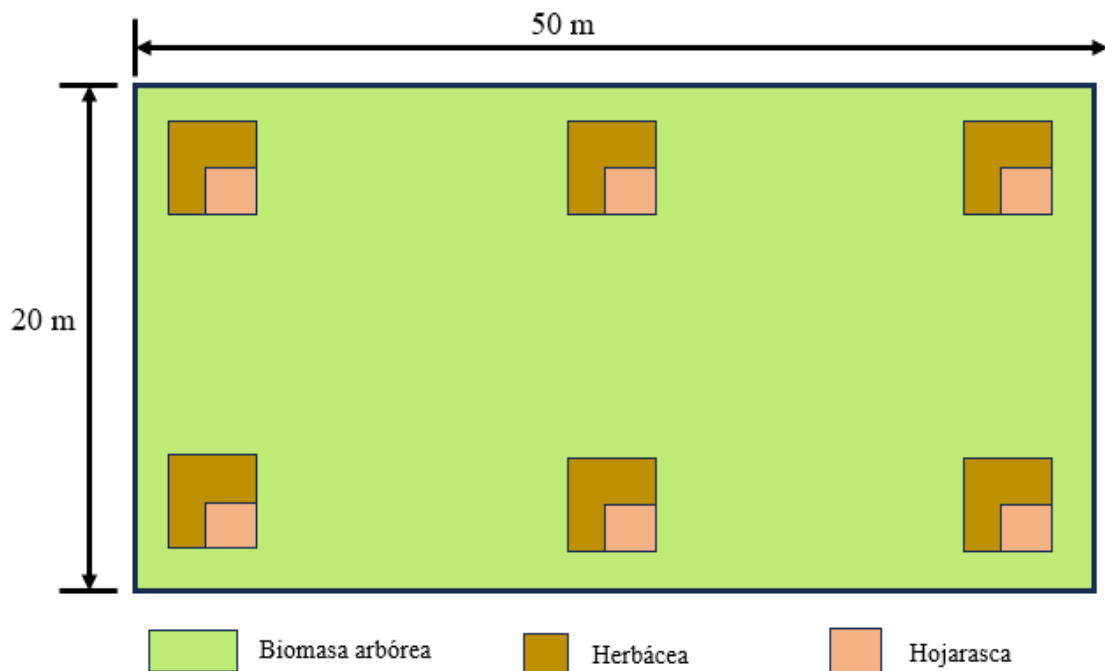


Figura 1. Diseño de parcelas de muestreo para la biomasa vegetal total

Para el registro del DAP, se utilizó una cinta métrica tomando circunferencia para posterior obtener el diámetro a través de:

$$D = \frac{CAP}{3.1416}$$

Donde el CAP es la circunferencia a una altura de 1.30 m desde el suelo.

La altura en se utilizó a través del clinómetro con las tangentes de los ángulos hacia la base y el ápice considerando una distancia horizontal, lo cual esta dada por la siguiente expresión:

$$HT = (Tg \alpha \pm Tg \beta) \times DH$$

Además, se procedió al corte de las ramas, las cuales fueron deshojadas posteriormente. Cada componente fue pesado por separado, y luego se tomaron muestras representativas de 500 g para las ramas y 200 g para las hojas.

Estas muestras fueron trasladadas al laboratorio, donde se sometieron a un proceso de secado a 103°C para fuste, 80°C para hojas y ramas, durante tres días, hasta alcanzar un peso constante. De este modo, se obtuvo la biomasa aérea de cada componente por separado.

$$B \text{ (kg)} = (PSM/PFM) \times PFT$$

B = Biomasa

PFM = Peso Fresco de la muestra

PSM = Peso Seco de la muestra

PFT = Peso fresco total

$$Bt \text{ (kg/árbol)} = Bf + Br + Bh$$

Bt = Biomasa total

Bf = Biomasa del fuste

Br = Biomasa de las ramas

Bh = Biomasa de hojas

### 3.2.2.2. Cuantificación de la biomasa herbácea

La biomasa herbácea (Hbh) y arbustiva (BAb) se compuso por la biomasa epigea del suelo, correspondiente a arbustos de menos de 2,5 cm de diámetro, gramíneas y otras hierbas. Se realizó una recolección de muestras de vegetación herbácea y arbustiva, formada por arbustos menores de 2,5 cm de diámetro, gramíneas y otras hierbas. Las muestras fueron colectadas directamente de cuadrantes de 1 m x 1 m, distribuidos sistemáticamente en todas las subparcelas. Una vez recolectadas, se procedió a eliminar completamente las hierbas del suelo. Luego, se pesó toda la muestra, y se tomó una submuestra de 200 g, que se colocó en un papel con forma de bolsa. Esta submuestra fue llevada a una estufa de aire caliente, donde se mantuvo a 75°C durante 24 horas, hasta alcanzar un peso seco constante.

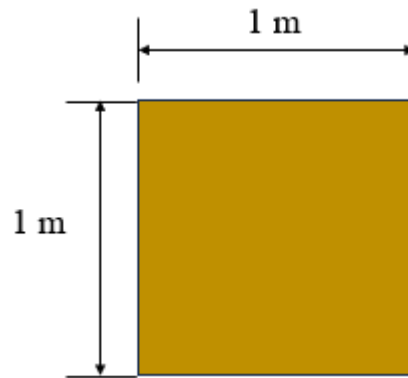


Figura 2. Diseño de las zonas para evaluar la biomasa arbórea viva y biomasa arbustiva y herbácea.

$$BAH \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = [ (PSM/PFM) \times PFT ] \times 0,01$$

Dónde:

BAH = Biomasa arbustiva 1 herbácea, materia seca (t ha-1)

PSM = Peso seco de la muestra colectada (g)

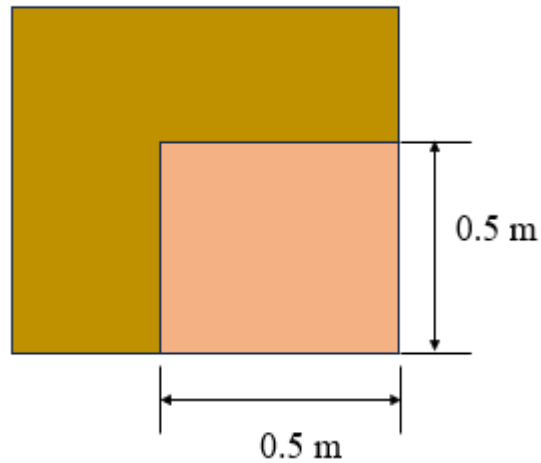
PFM = Peso fresco de la muestra colectada (g)

PFT = Peso total por metro cuadrado (g)

0.01 = Factor de conversión cuando es de 1 m x 1m

### 3.2.2.3. Cuantificación de la biomasa de hojarasca

Se cuantificó la biomasa del estrato superficial, que incluye hojarasca y material leñoso no vivo (ramillas y ramas), empleando cuadrantes de 0,5 m × 0,5 m, instalados dentro de marcos de madera de 1 m por lado (Figura 4). La hojarasca recolectada se depositó en sobres de papel, registrando su peso fresco total para un área de 0,25 m<sup>2</sup>. Se extrajo una submuestra, se documentó su peso y se secó en estufa de aire forzado a 75°C hasta obtener peso constante, permitiendo calcular la relación peso seco/peso fresco para extrapolar la biomasa seca total.



**Figura 4.** Cuadrantes interiores de 0,5 m a cada lado para hojarasca y cuadrantes de 1 m a cada lado para material herbáceo y arbustivo.

$$B_h \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = [ \text{PSM} / \text{PFM} ] \times \text{PFT} ] \times 0,04$$

Dónde:

$B_h$  = Biomasa de la hojarasca, materia seca (t ha<sup>-1</sup>)

$\text{PSM}$  = Peso seco de la muestra colectada (g)

$\text{PFM}$  = Peso fresco de la muestra colectada (g)

$\text{PFT}$  = Peso total por metro cuadrado (g)

0.04 = Factor de conversión cuando es de 0,5 m x 0,5 m

### 3.2.2.4. Criterios de la investigación

#### **Tipo de investigación**

El estudio que se realizó, enfocado en la cuantificación de la biomasa vegetal a través de métodos destructivos y el uso de cuadrantes para el muestreo de herbáceas y hojarasca, se clasificó como una investigación aplicada. Esta clasificación se justifica por su objetivo de generar conocimientos prácticos que contribuyan a la gestión y conservación de ecosistemas, además de su enfoque en resolver problemas concretos del entorno real.

#### **Nivel de la investigación**

El nivel de investigación fue exploratorio y descriptivo. El enfoque exploratorio se justificó por la aplicación de métodos destructivos y la instalación de cuadrantes, cuya implementación resultó ser novedosa en el área de estudio. Por otro lado, el componente descriptivo se evidenció en la recopilación detallada de datos, cuyo objetivo fue ofrecer una descripción exhaustiva sobre la distribución y cantidad de biomasa vegetal, considerando elementos específicos como el fuste, las hojas y las ramas de los árboles, así como la herbácea y la hojarasca en los cuadrantes.

#### **Diseño de la investigación**

El diseño fue no experimental, ya que no se manipuló las variables independientes. Las variables dasométricas y la biomasa vegetal fueron analizadas mediante Microsoft Excel, utilizando estadísticas descriptivas como el promedio, el valor mínimo, el valor máximo, el error estándar y el coeficiente de variación.

#### **Variables determinantes**

Altura, DAP

#### **- Variables dependientes**

Biomasa vegetal por componente

Biomasa de herbácea

Biomasa de hojarasca

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1. Biomasa arbórea por componente (fuste, ramas, hojas) en una plantación de *Guazuma crinita*.

#### 4.1.1. Biomasa por componente (fuste, ramas y hojas)

Los resultados obtenidos muestran que el componente con mayor aporte a la biomasa arbórea total fue el fuste (BF), con una media de 227,14 kg por individuo, lo que confirma el papel central de este órgano como el principal reservorio de biomasa en *Guazuma crinita*. En segundo lugar se ubicaron las ramas (BR) con una media de 57,17 kg, y finalmente las hojas (BH) con 6,97 kg. En conjunto, la biomasa total aérea (BTA) alcanzó un promedio de 291,27 kg por árbol, reflejando la capacidad de esta especie para acumular biomasa en una etapa temprana de desarrollo bajo condiciones de plantación.

El análisis de la variabilidad indica que el fuste presentó un coeficiente de variación (CV) bajo (5,02%), lo que evidencia una distribución relativamente uniforme del crecimiento en este componente entre los árboles evaluados. Esta homogeneidad es coherente con el carácter estructural del fuste, cuyo desarrollo está condicionado por la competencia vertical y la captación de luz. En contraste, las hojas mostraron la mayor variabilidad (CV = 15,98%), seguidas de las ramas (CV = 9,57%). Esta mayor dispersión refleja diferencias entre individuos en la asignación de biomasa al follaje y la copa, probablemente asociadas a factores microambientales y a la dinámica de competencia interespecífica.

Por otro lado, la biomasa total aérea (BTA) registró un CV de 3,78%, valor inferior al de los componentes individuales, lo que sugiere que, pese a la variabilidad en hojas y ramas, la acumulación global de biomasa en la plantación es bastante estable. Este patrón se ve reforzado por los rangos relativamente estrechos entre valores mínimos y máximos en cada componente (por ejemplo, 212,10–242,00 kg en el fuste), lo cual confirma la consistencia en el crecimiento aéreo de los árboles evaluados.

En conjunto, los resultados evidencian que *Guazuma crinita* concentra la mayor proporción de su biomasa aérea en el fuste, lo que representa una característica deseable tanto para fines de aprovechamiento maderable como para la estimación de carbono almacenado en plantaciones. El menor aporte relativo de hojas y ramas, aunque cuantitativamente reducido, cumple un papel importante en los procesos fisiológicos, de captación de luz y en la dinámica del sotobosque a través del aporte de necromasa al suelo. Este balance confirma el potencial de

la especie como una alternativa forestal que combina productividad y servicios ecosistémicos (**Tabla 1**).

**Tabla 1.** Estadísticos descriptivos de biomasa aérea por componente y total (kg)

Variable	n	Media	D.E.	CV (%)	Mínimo	Máximo
BF	9	227,14	11,41	5,02	212,10	242
BH	9	6,97	1,1	15,98	5,46	8,72
BR	9	57,17	5,47	9,57	49,59	64,13
BTA	9	291,27	11,01	3,78	276,80	313,05

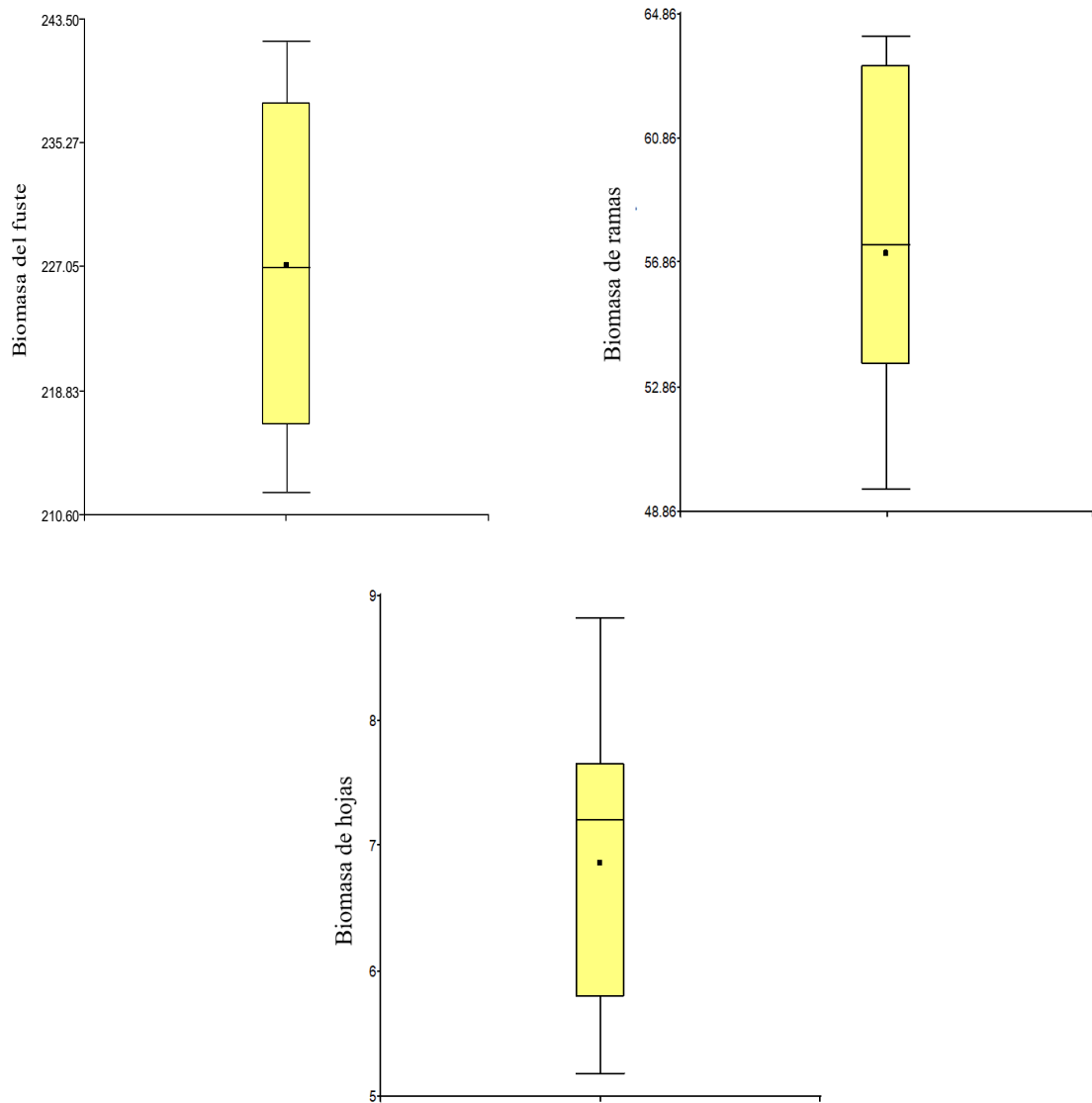
BF: biomasa del fuste; BH: Biomasa de hojas; BR: Biomasa de ramas; BTA: Biomasa total arbóreo; D.E: Desviación estándar; C.V (%): Coeficiente de variación

Los diagramas de cajas muestran la distribución de la biomasa aérea por componente en los árboles de *Guazuma crinita*. En el caso del fuste, los valores se concentraron entre aproximadamente 211 y 243 kg, con una mediana cercana a 227 kg, lo que confirma que este componente representa la mayor proporción de la biomasa aérea. El rango intercuartílico estrecho y la ausencia de valores extremos reflejan uniformidad en la asignación de biomasa al fuste entre los individuos evaluados.

Para las hojas, los valores oscilaron entre 5 y 9 kg, con una mediana de alrededor de 7 kg. Se observa un rango de variación relativamente amplio respecto al número de individuos, lo cual indica diferencias en la producción foliar, posiblemente asociadas al estado fenológico y la exposición a la luz.

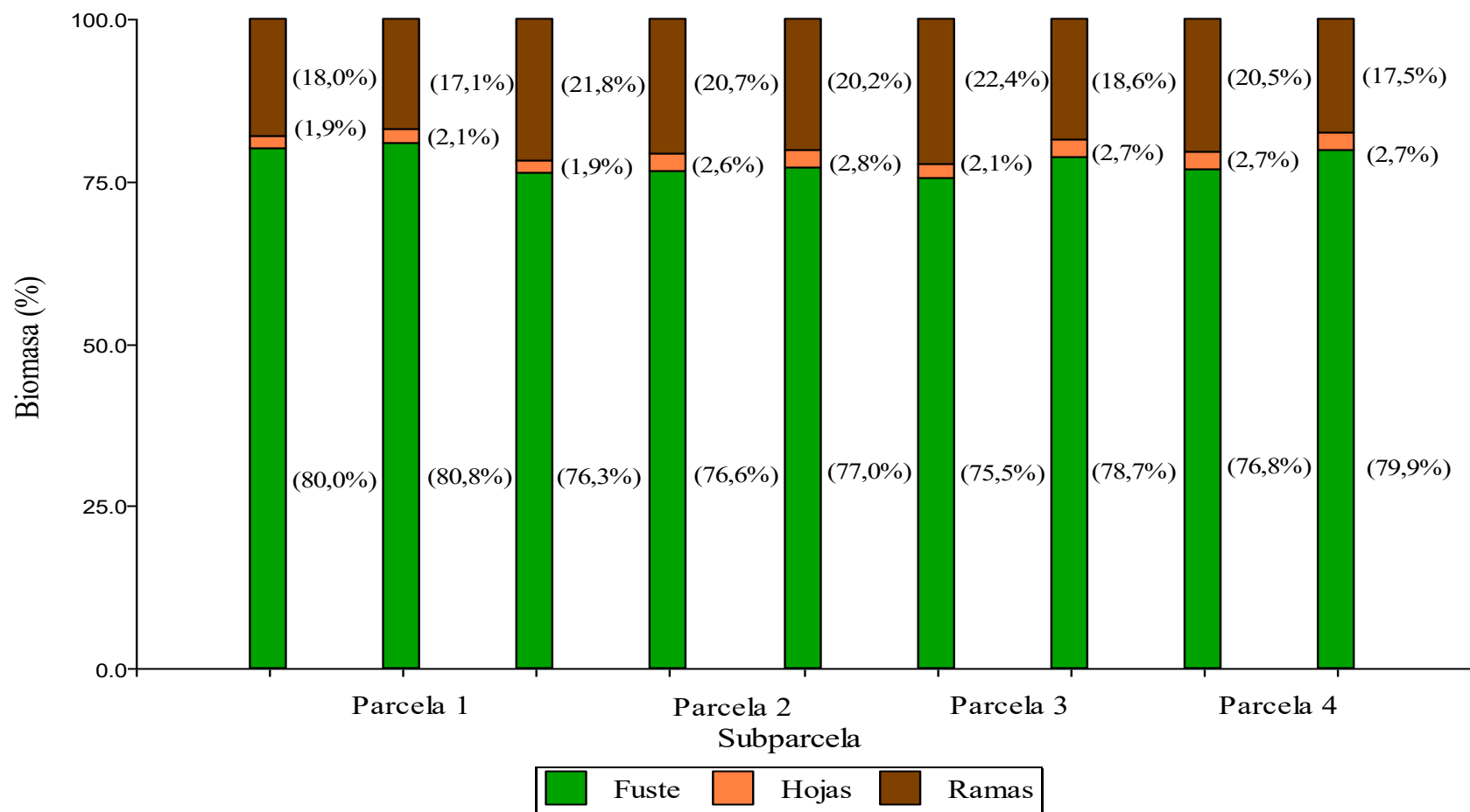
En el caso de las ramas, la biomasa fluctuó entre 49 y 65 kg, con una mediana aproximada de 57 kg. Aunque la magnitud es menor en comparación con los otros componentes, la variabilidad relativa es mayor, lo que evidencia diferencias en la arquitectura de copa entre individuos.

En conjunto, los diagramas de cajas confirman que la biomasa aérea se concentra principalmente en el fuste, mientras que hojas y ramas presentan mayor variabilidad relativa. Estos patrones refuerzan los resultados de los estadísticos descriptivos, evidenciando la importancia del fuste como principal reservorio de biomasa en la especie evaluada (**Figura 3**).



**Figura 3.** Diagrama de Box Plot para la biomasa del fuste, ramas y hojas

La **Figura 4** muestra que en todos los individuos de *Guazuma crinita* la biomasa aérea está claramente dominada por el fuste, con proporciones que varían entre 75,5 % y 80,8 %, lo que confirma su papel principal como reservorio estructural y de carbono. Las ramas representan entre 17,1 % y 22,4 %, mientras que las hojas fluctúan entre 1,9 % y 2,8 %, evidenciando una participación secundaria dentro de la asignación de biomasa. Esta distribución indica una estrategia de inversión predominante en el fuste, orientada al soporte mecánico y a la acumulación de biomasa de largo plazo, mientras que las ramas mantienen un aporte intermedio y las hojas reflejan el componente más dinámico y variable, asociado a procesos fisiológicos y fenológicos. La consistencia del predominio del fuste a través de los nueve individuos evaluados respalda su uso como indicador robusto en la estimación de biomasa aérea total en plantaciones de esta especie.



**Figura 4.** Porcentaje de biomasa de fuste, ramas y hojas en *Guazuma crinita*

La distribución porcentual de la biomasa aérea de *Guazuma crinita* evidenció un claro predominio del fuste con 77,9%, seguido por las ramas con 19,6% y finalmente las hojas con 2,4%. Este patrón es consistente con lo reportado por Revilla-Chávez et al. (2021) en plantaciones jóvenes de Ucayali, donde el fuste representó el 85%, las ramas 13% y las hojas 3%, y también con lo señalado por Samaniego (2009) en Satipo, quien informó más del 90% de la biomasa concentrada en el tallo principal. En ambos casos, al igual que en el presente estudio, se confirma que el fuste constituye el principal reservorio de biomasa en *Guazuma crinita*.

Al comparar estos resultados con otras especies, se aprecian diferencias notables. En encinos de México, Cortés-Sánchez et al. (2019) reportaron 60,6% en fuste, 36,1% en ramas y 3,3% en hojas, con una asignación relativamente mayor hacia las ramas. En *Pinus patula*, Soriano-Luna et al. (2015) encontraron 68,2 % en fuste, 14,3% en ramas y 8,2% en follaje, un patrón más próximo al de la bolaina, aunque con mayor proporción de hojas. En contraste, *Tectona grandis* presentó una distribución de 48% en fuste, 35% en ramas y 17% en hojas (Marroquín-Morales et al., 2023), mientras que en *Quillaja saponaria*, Quintana (2008) reportó 60% en fuste, 31% en ramas y 15% en hojas, evidenciando una distribución más equilibrada entre componentes secundarios.

Estas diferencias se explican por la estrategia de asignación de biomasa de cada especie, la edad de las plantaciones y las condiciones ambientales locales. En el caso de *Guazuma crinita*, su carácter de especie pionera y de rápido crecimiento favorece la canalización de biomasa hacia el fuste, lo que le permite asegurar soporte estructural y acumular carbono de manera eficiente. Por el contrario, especies como la teca y el quillay, adaptadas a condiciones semiáridas o más heterogéneas, presentan una mayor asignación hacia ramas y hojas, probablemente como una estrategia para incrementar la superficie fotosintética y optimizar el uso de los recursos disponibles.

En síntesis, el predominio del fuste en la biomasa aérea de *Guazuma crinita* refleja un patrón consistente en plantaciones de la Amazonía peruana y resalta su valor como especie clave para la captura de carbono y el aprovechamiento maderable. A su vez, aunque ramas y hojas representan porcentajes menores, desempeñan funciones ecológicas esenciales al contribuir con la producción de hojarasca y el reciclaje de nutrientes en el ecosistema.

#### 4.1.2. Modelos de ajuste de regresión para la biomasa

En la **Tabla 2** se presentan las ecuaciones de regresión ajustadas para la estimación de la biomasa arbórea de *Guazuma crinita* Mart. (bolaina blanca), considerando diferentes formas funcionales y combinaciones de variables predictoras. Los resultados muestran diferencias claras en la capacidad explicativa de cada modelo, expresada a través del coeficiente de determinación ( $R^2$ ).

Los modelos lineales simples con variables independientes (DAP y altura total) evidenciaron un bajo nivel de ajuste. El modelo con DAP presentó un  $R^2$  de 0,028, prácticamente sin capacidad predictiva, mientras que el modelo con altura alcanzó un  $R^2$  de 0,279, lo que indica una ligera mejora, aunque insuficiente para explicar de manera adecuada la variabilidad de la biomasa. Cuando se utilizó el producto DAP·Altura, el ajuste mejoró ( $R^2 = 0,363$ ), lo que sugiere que la interacción entre ambas variables contribuye a representar mejor la acumulación de biomasa aérea.

En el caso de los modelos lineales múltiples, se observó que el modelo con DAP y Altura combinados obtuvo un  $R^2$  de 0,361, similar al obtenido con la variable compuesta DAP·Altura. Sin embargo, el modelo múltiple extendido, que incluyó DAP, Altura y su interacción (DAP·Altura), alcanzó el mayor ajuste global ( $R^2 = 0,43$ ), convirtiéndose en el modelo con mejor desempeño estadístico dentro del conjunto de ecuaciones analizadas.

Por otro lado, los modelos no lineales aplicados únicamente con el DAP (polinómico, exponencial y logarítmico) presentaron valores de  $R^2$  muy bajos, inferiores a 0,10, lo que evidencia que este tipo de relaciones no son adecuadas para describir la biomasa en *Guazuma crinita* con la muestra utilizada.

Finalmente, el modelo potencial o alométrico, que combinó DAP y altura en una forma multiplicativa, obtuvo un  $R^2$  de 0,361. Aunque su ajuste fue menor al modelo múltiple extendido, este modelo es ampliamente reconocido en la literatura forestal, ya que representa mejor los procesos fisiológicos de crecimiento y acumulación de biomasa, y es el más utilizado para generar comparaciones entre especies y ecosistemas.

**Tabla 2.** Modelos de ajuste de regresión generado a partir del DAP y la altura

Modelo	Ecuación	R <sup>2</sup>
Lineal simple (DAP)	Biomasa = 302.05 – 0.45·DAP	0,028
Lineal simple (Altura)	Biomasa = 314.83 – 1.36·Altura	0,279
Lineal simple (DAP·Altura)	Biomasa = 316.53 – 0.0614·(DAP·Altura)	0,363
Lineal múltiple (DAP + Altura)	Biomasa = 336.35 – 0.79·DAP – 1.52·Altura	0,361
Lineal múltiple extendido (DAP + Altura + DAP·Altura)	Biomasa = 121.84 + 8.50·DAP + 10.98·Altura – 0.40·(DAP·Altura)	0,43
Polinómica (DAP <sup>2</sup> )	Biomasa = 444.91 – 12.44·DAP + 0.25·DAP <sup>2</sup>	0,092
Exponencial (DAP)	ln(Biomasa) = 5.71 – 0.00·DAP	0,027
Logarítmica (DAP)	Biomasa = 279.88 + 3.98·ln(DAP)	0,03
Potencial (alométrico)	Biomasa = 2.0107 · DAP <sup>0.0929</sup> · Altura <sup>0.1697</sup>	0,361

Los modelos de regresión ajustados para estimar la biomasa aérea de *Guazuma crinita* mostraron desempeños variables según las variables predictoras empleadas. Los modelos lineales simples con diámetro a la altura del pecho (DAP), altura o el producto DAP·Altura presentaron bajos coeficientes de determinación ( $R^2 < 0,40$ ), lo que indica una capacidad limitada para explicar la variabilidad de la biomasa. En contraste, el modelo lineal múltiple extendido que incluyó DAP, altura y la interacción DAP·Altura alcanzó un  $R^2$  de 0,43, mejorando el ajuste, aunque sin superar el 50 %. Por otro lado, los modelos no lineales presentaron un comportamiento más consistente: el modelo potencial (alométrico) logró un  $R^2$  de 0,361, y la ecuación polinómica cuadrática alcanzó 0,092, aunque con menor capacidad predictiva.

Al comparar con los antecedentes, se observan diferencias notables. Revilla-Chávez et al. (2021) ajustaron modelos potenciales para *Guazuma crinita* en Ucayali, obteniendo un  $R^2$  de 0,94, valor considerablemente superior al alcanzado en este estudio. De manera similar, Lino (2009) en bolainales de Aguaytía reportó un modelo potencial con  $R^2$  de 0,99 para biomasa aérea y radicular, confirmando la robustez de este tipo de funciones. En otras especies, Cortés-Sánchez et al. (2019) en encinos de México y Soriano-Luna et al. (2015) en *Pinus patula*

también reportaron que los modelos no lineales, especialmente los de tipo exponencial y potencial, ofrecen mejores predicciones, con  $R^2$  superiores al 0,90.

Las diferencias entre los resultados de este estudio y los antecedentes pueden explicarse principalmente por el tamaño y variabilidad de la muestra. Mientras que investigaciones como las de Revilla-Chávez et al. y Lino utilizaron entre 38 y más de 100 árboles para ajustar sus modelos, en el presente trabajo se dispuso únicamente de 9 individuos, lo que reduce la representatividad y la precisión estadística. Asimismo, la edad de las plantaciones también influye en la calidad del ajuste: en plantaciones jóvenes, el crecimiento es más homogéneo y facilita la obtención de relaciones estables, mientras que en edades intermedias o con variabilidad en el sitio, la dispersión de datos es mayor. Otro aspecto relevante es la inclusión de variables adicionales como la densidad de la madera o el volumen fustal, que en estudios previos mejoraron la capacidad predictiva y que en este caso no fueron consideradas.

En síntesis, aunque los modelos generados en este estudio permiten obtener estimaciones preliminares de la biomasa aérea de *Guazuma crinita*, su bajo poder explicativo evidencia la necesidad de ampliar el número de árboles muestreados y de probar modelos alométricos más complejos, integrando variables como la densidad básica, el área basal o la edad de la plantación. Ello permitiría obtener ecuaciones con mayor robustez y comparables con las de otros estudios que reportan ajustes superiores al 90%.

#### **4.1.3. Cuantificación de la biomasa aérea por parcela y en t/ha**

En la **Tabla 3** y **Figura 5** se observa la estimación de la biomasa aérea expresada en toneladas por hectárea (t/ha) para las cuatro subparcelas evaluadas. Los valores obtenidos muestran una variabilidad que va desde 101,37 t/ha en la subparcela 3, hasta 147,99 t/ha en la subparcela 1, con un promedio general de 126,71 t/ha. La subparcela 4 alcanzó 137,40 t/ha, un valor cercano al máximo registrado, mientras que la subparcela 2 presentó 120,06 t/ha, ligeramente por debajo del promedio.

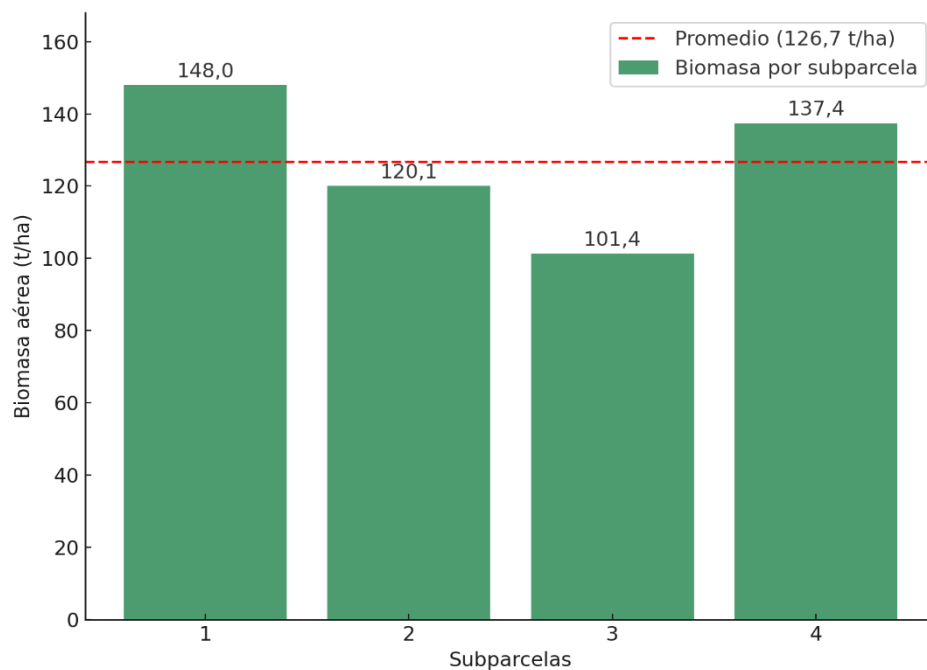
La variabilidad observada entre subparcelas evidencia diferencias en la acumulación de biomasa aérea, las cuales pueden estar asociadas a la densidad de árboles presentes, la distribución de diámetros y alturas, así como a posibles variaciones microambientales o edáficas dentro de la plantación. Este comportamiento es esperado en estudios de biomasa, ya que factores locales influyen directamente en el crecimiento y productividad de los individuos de *Guazuma crinita*.

El valor promedio de 126,71 t/ha representa un nivel considerable de biomasa aérea para esta especie en condiciones de plantación en el distrito de Luyando. Esta cifra confirma el potencial de la bolaina blanca como especie de rápido crecimiento para la acumulación de biomasa y captura de carbono, lo que la convierte en una alternativa importante para programas de reforestación, servicios ecosistémicos y manejo forestal sostenible en la Amazonía peruana.

Finalmente, la diferencia superior a 40 t/ha entre la subparcela de mayor y menor biomasa resalta la importancia de utilizar varias subparcelas de muestreo en la estimación, con el fin de reducir la incertidumbre y garantizar una representación más confiable del comportamiento de la plantación en su conjunto.

**Tabla 3.** Estimación de la biomasa a t/ha

Subparcela (n°)	Biomasa (kg) por parcela de 50 m x 20 m	Biomasa t/ha
1	14799,995	147,999
2	12005,761	120,058
3	10137,174	101,372
4	13739,629	137,396
Promedio		126,706



**Figura 5.** Carbono aéreo total por parcela y total

La biomasa aérea total estimada en la plantación de *Guazuma crinita* alcanzó un promedio de 126,71 t/ha, con valores que oscilaron entre 101,37 y 147,99 t/ha en las cuatro subparcelas evaluadas. Estos resultados confirman el potencial de la especie como reservorio de carbono en sistemas de plantación tropicales. Revilla-Chávez et al. (2021), en plantaciones jóvenes de la misma especie en Ucayali, reportaron valores inferiores, con promedios cercanos a 28,76 kg por individuo, lo que equivale a un menor valor por hectárea en lo cual uno de los factores sería la corta edad de los árboles (31 meses). En contraste, Lino (2009) en bolainales de la cuenca del Aguaytía estimó entre 61,73 y 90,19 t/ha según la edad (3–7 años), cifras menores a las encontradas en este trabajo, lo que puede deberse a diferencias en densidad de plantación y edad de los rodales.

Por su parte, Neira (2009) en Satipo registró 43,94 t/ha en plantaciones puras de *Guazuma crinita*, mientras que en asociaciones con *Theobroma cacao* la biomasa fue de 19,96 t/ha, mostrando que los sistemas mixtos tienden a reducir la acumulación de biomasa de bolaina blanca ya que uno de los muchos factores sería la competencia interespecífica. Asimismo, estudios en otras especies reflejan variaciones importantes: Soriano-Luna et al. (2015) reportaron en *Pinus patula* una biomasa aérea de 68,2 % concentrada en el fuste, con valores totales que también se ubican por debajo de los observados en *Guazuma crinita*; mientras que Marroquín-Morales et al. (2023) en *Tectona grandis* calcularon alrededor de 22,77 kg por individuo, reflejando valores menores en comparación con plantaciones amazónicas.

Las diferencias entre estudios responden a varios factores. En primer lugar, la edad de las plantaciones podría ser uno de los factores determinantes: los valores más bajos corresponden a plantaciones jóvenes, mientras que los mayores se registran en sistemas maduros con mayor acumulación de biomasa. En segundo lugar, la densidad de plantación influye directamente, ya que mayor número de árboles por hectárea genera mayor biomasa total, aunque con posibles efectos de competencia a largo plazo. En tercer lugar, las condiciones edafoclimáticas como la fertilidad del suelo, la disponibilidad de agua y el régimen de precipitaciones también explican la variabilidad entre regiones.

En conjunto, los resultados de este estudio evidencian que la biomasa aérea de *Guazuma crinita* en Huánuco se encuentra en el rango alto de lo reportado en plantaciones similares, lo que reafirma el potencial de la especie como fuente de captura de carbono y como recurso maderable. Ello resalta la importancia de promover plantaciones de bolaina blanca en la Amazonía peruana, tanto por su valor ecológico como por sus posibilidades de aprovechamiento sostenible.

#### 4.2. Biomasa de herbácea por superficie en una plantación de *Guazuma crinita*.

En la **Tabla 4** y **Figura 6** se presentan los valores de biomasa herbácea expresados en toneladas por hectárea (t/ha) para las cuatro subparcelas evaluadas. El promedio general fue de 0.09 t/ha, evidenciando que la contribución de la vegetación herbácea a la biomasa total es reducida en comparación con la biomasa arbórea.

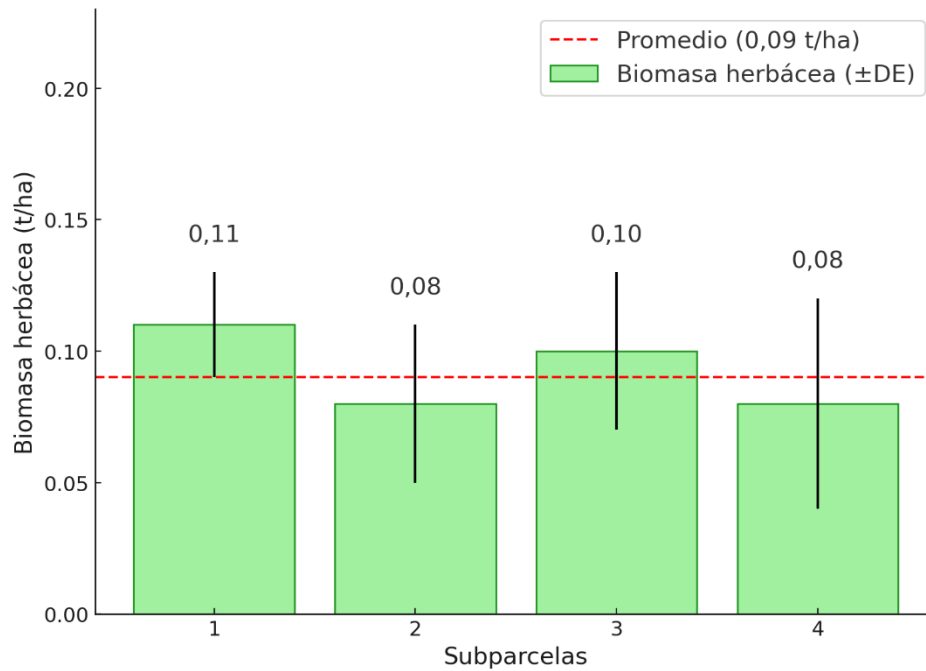
Los valores promedio oscilaron entre 0.08 t/ha en las subparcelas 2 y 4, y 0.11 t/ha en la subparcela 1, que registró el mayor valor. La subparcela 3 presentó un valor intermedio de 0.10 t/ha. Estos resultados muestran que la biomasa herbácea se mantiene en niveles bajos y relativamente similares entre subparcelas, aunque con ciertas diferencias atribuibles a la cobertura y composición del sotobosque.

El análisis de la variabilidad indica que la subparcela 1 tuvo la menor dispersión (CV = 15,90%), lo que refleja mayor homogeneidad en la biomasa herbácea. Por el contrario, la subparcela 4 presentó la mayor variabilidad (CV = 46,09%), seguida de la subparcela 2 (CV = 35,64%) y la subparcela 3 (CV = 31,01%). Esta heterogeneidad puede estar asociada a factores microambientales, como la disponibilidad de luz bajo el dosel, la densidad de árboles y la competencia interespecífica entre las especies del estrato herbáceo.

En conjunto, los resultados confirman que la biomasa herbácea en las plantaciones de *Guazuma crinita* es baja y su aporte a la biomasa total del ecosistema es marginal, aunque cumple un papel importante en la dinámica del sotobosque y en el reciclaje de nutrientes.

**Tabla 4.** Biomasa de herbácea (t/ha) por subparcela

Subparcela	N	Media	Mínimo	Máximo	DE	CV (%)
1	6	0,11	0,08	0,13	0,02	15,90
2	6	0,08	0,04	0,11	0,03	35,64
3	6	0,10	0,06	0,14	0,03	31,01
4	6	0,08	0,05	0,15	0,04	46,09
Promedio total				0,09		



**Figura 6.** Biomasa herbácea (t/ha) en las diferentes subparcelas

la biomasa herbácea en la plantación de *Guazuma crinita* alcanzó un promedio de 0,09 t/ha, reflejando un aporte reducido en comparación con la biomasa arbórea. Resultados semejantes fueron reportados por Araujo (2023) en una plantación mixta de *Colubrina glandulosa* y *Vitex pseudolea* en Leoncio Prado, donde la biomasa herbácea osciló entre 0,38 y 1,16 t/ha en distintas evaluaciones, confirmando que este compartimento, aunque menor en magnitud, contribuye al reciclaje de nutrientes. De manera similar, Zavala et al. (2018) en un sistema agroforestal de café en Tingo María registraron 7,45 t/ha de biomasa arbustiva-herbácea, un valor considerablemente mayor que el encontrado en la presente investigación, posiblemente debido a la mayor cobertura de sotobosque y diversidad de especies propias de los sistemas agroforestales.

Por otra parte, Lino (2009) en bolainales de la cuenca del Aguaytía también incluyó la biomasa herbácea y arbustiva en sus estimaciones, encontrando que su aporte era relativamente bajo frente a la biomasa arbórea y radicular, lo que coincide con la proporción reducida obtenida en la plantación de Huánuco. En contraste, estudios en sistemas silvopastoriles de la Amazonía peruana (Manglar, 2024) han señalado que la biomasa herbácea puede superar las 4 t/ha, lo cual resalta las diferencias entre plantaciones forestales puras y sistemas con mayor apertura de copa, donde la luz favorece la producción de estratos bajos.

Las diferencias encontradas entre estudios responden principalmente al tipo de sistema evaluado, ya que en plantaciones puras como la de *Guazuma crinita* el cierre de dosel limita el

desarrollo de herbáceas, mientras que en sistemas agroforestales o silvopastoriles la mayor luminosidad y diversidad de especies permiten un mayor acúmulo de biomasa en este estrato. Asimismo, la edad de la plantación es un factor clave, dado que en etapas tempranas las herbáceas pueden ser más abundantes y su presencia disminuye conforme avanza la cobertura arbórea. En síntesis, aunque la biomasa herbácea representa una fracción pequeña en comparación con la arbórea, su importancia radica en su rol en el ciclo de nutrientes y en la dinámica de la productividad del sistema.

### **4.3. Cuantificar la biomasa de hojarasca por superficie en una plantación de *Guazuma crinita*.**

En la **Tabla 5** y **Figura 7** se presentan los valores de biomasa de hojarasca expresados en toneladas por hectárea (t/ha) para las cuatro subparcelas evaluadas. El promedio general fue de 0,53 t/ha, lo que refleja un aporte importante de este componente al ciclo de materia orgánica dentro de la plantación de *Guazuma crinita*.

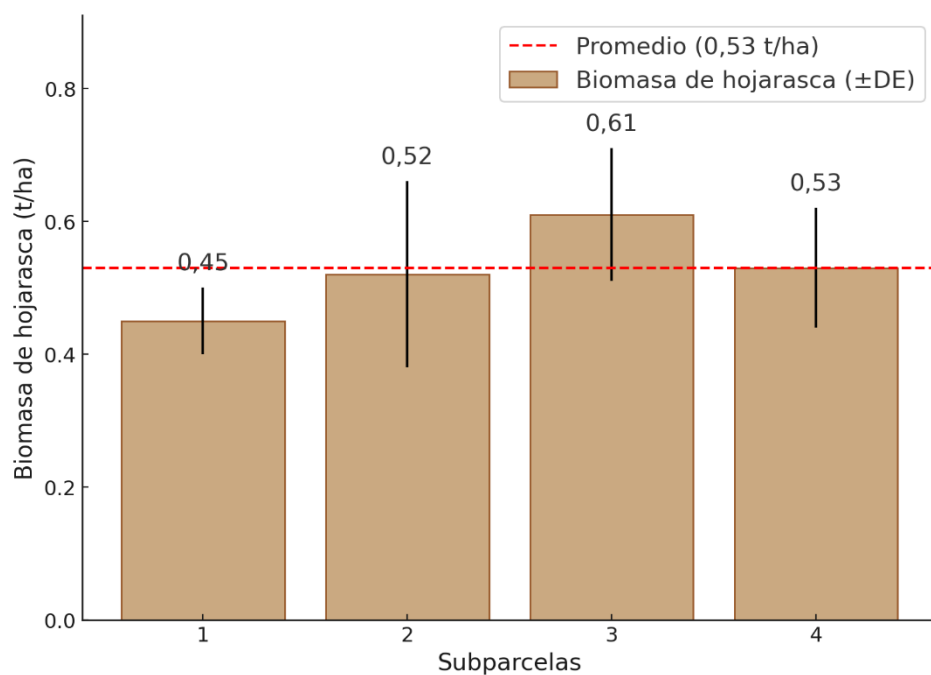
Los valores promedio oscilaron entre 0,45 t/ha en la subparcela 1 y 0,61 t/ha en la subparcela 3, que representó el valor más alto registrado. La subparcela 2 alcanzó 0,52 t/ha, mientras que la subparcela 4 presentó 0,53 t/ha, muy cercano al promedio general. Esta distribución muestra que, a diferencia de la biomasa herbácea, la biomasa de hojarasca presenta niveles relativamente más homogéneos entre subparcelas, aunque con algunas variaciones marcadas.

En cuanto a la variabilidad, la subparcela 1 presentó la menor dispersión (CV = 10,47%), lo que indica uniformidad en la acumulación de hojarasca en ese sector. En contraste, la subparcela 2 registró la mayor variación (CV = 26,65%), seguida de la subparcela 4 (CV = 16,88%) y la subparcela 3 (CV = 15,80%). Esta heterogeneidad puede atribuirse a factores microambientales, como la densidad de árboles, el estado fenológico de la especie y la intensidad de caída de hojas en cada subparcela.

En general, los resultados confirman que la biomasa de hojarasca constituye un componente relevante dentro del ecosistema evaluado, ya que representa un aporte constante de materia orgánica al suelo, contribuyendo al reciclaje de nutrientes y al mantenimiento de la fertilidad en la plantación de *Guazuma crinita*.

**Tabla 5.** Biomasa de herbácea (t/ha) por subparcela

Subparcela	N	Media	Mínimo	Máximo	DE	CV (%)
1	6	0,45	0,40	0,52	0,05	10,47
2	6	0,52	0,36	0,72	0,14	26,65
3	6	0,61	0,48	0,76	0,10	15,80
4	6	0,53	0,36	0,60	0,09	16,88
Promedio total				0,53		

**Figura 7.** Biomasa hojarasca (t/ha) en las diferentes subparcelas

En este estudio, la biomasa de hojarasca en la plantación de *Guazuma crinita* alcanzó un promedio de 0,53 t/ha, valor que evidencia un aporte intermedio dentro de los compartimentos evaluados. Resultados cercanos han sido descritos por Araujo (2023) en plantaciones mixtas de *Colubrina glandulosa* y *Vitex pseudolea* en Leoncio Prado, donde la biomasa de hojarasca fue de 1,07–1,13 t/ha, duplicando aproximadamente lo observado en la presente investigación. Asimismo, Zavala et al. (2018), en un sistema agroforestal de café en Tingo María, encontraron 12,49 t/ha de hojarasca, cifra notablemente superior debido a la diversidad de especies y mayor cobertura que caracteriza a los sistemas agroforestales.

En contraste, Lino (2009) en bolainales de 3 a 7 años en Ucayali reportó valores de biomasa aérea seca total que incluían componentes de hojarasca y arbustiva, con aportes

menores en comparación con el fuste, confirmando que este estrato representa un compartimento secundario en las plantaciones de *Guazuma*. Por su parte, estudios en otras especies también reflejan variaciones significativas: Soriano-Luna et al. (2015) registraron en *Pinus patula* un 8,2 % de la biomasa en el follaje, mientras que Marroquín-Morales et al. (2023) en *Tectona grandis* y Quintana (2008) en *Quillaja saponaria* reportaron valores del 17 % y 15 % respectivamente en hojas, lo que sugiere que en especies diferentes la producción de hojarasca puede ser más abundante que en *Guazuma crinita*.

Las diferencias observadas entre estudios pueden atribuirse a la edad y estructura de las plantaciones, ya que sistemas jóvenes o con mayor diversidad tienden a producir más hojarasca por el recambio foliar acelerado. Además, las condiciones ambientales locales, como la fertilidad del suelo y la disponibilidad de agua, influyen en la tasa de producción y descomposición del litter. También la estrategia ecológica de la especie explica parte de estas variaciones: *Guazuma crinita* canaliza gran parte de su energía hacia el crecimiento del fuste, lo que reduce la proporción relativa de biomasa foliar en comparación con otras especies. En conjunto, estos resultados reafirman que la hojarasca, aunque cuantitativamente menor frente al fuste, cumple un rol fundamental en el reciclaje de nutrientes y en el mantenimiento de la fertilidad del suelo dentro de las plantaciones tropicales.

## V. CONCLUSIONES

1. Mediante el método destructivo se determinó que la biomasa aérea de *Guazuma crinita* se distribuye principalmente en el fuste (227,14 kg; 77,9%), seguido por las ramas (57,17 kg; 19,6%) y las hojas (6,97 kg; 2,4%). El ajuste de modelos de regresión permitió identificar que el modelo lineal múltiple extendido (DAP + Altura + DAP·Altura) presentó el mejor desempeño estadístico ( $R^2 = 0,43$ ). Con base en estas ecuaciones, la biomasa aérea total se estimó en un promedio de 126,71 t/ha en la plantación evaluada.
2. La biomasa del estrato herbáceo registró un promedio de 0,09 t/ha, con valores que oscilaron entre 0,08 y 0,11 t/ha en las subparcelas, evidenciando un aporte reducido en comparación con la biomasa arbórea.
3. La biomasa de hojarasca alcanzó un promedio de 0,53 t/ha, con valores comprendidos entre 0,45 y 0,61 t/ha. Este componente representa un aporte constante de materia orgánica al suelo de la plantación.

## VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Ampliar el muestreo destructivo, incrementando el número de árboles evaluados para mejorar la representatividad estadística y captar de manera más precisa la variabilidad de la plantación.
2. Incluir diferentes edades de plantación de *Guazuma crinita*, lo cual permitirá construir modelos alométricos más robustos y transferibles a distintas condiciones de manejo y etapas de crecimiento.
3. Incorporar la biomasa subterránea y la necromasa en las estimaciones, con el fin de obtener un balance más integral del carbono almacenado en la especie y del papel de la plantación en el ciclo del carbono.
4. Evaluar la relación entre biomasa y factores ambientales, como las características del suelo, la precipitación y la competencia entre individuos, que influyen directamente en el crecimiento y productividad.

## VII. REFERENCIAS

- 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 magister, Centro agronómico Tropical de investigación y enseñanza].
- Anaya, K. (2010). Carbono almacenado en plantaciones disetáneas de *Guazuma crinita* Martius “bolaina blanca”, en Tingo María – Perú. [tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/938>
- Araujo Torres, R. (2023). *Biomasa vegetal y carbono almacenado en plantación mixta de ocho años de Colubrina glandulosa (shaina) y Vitex pseudolea (paliperro), Leoncio Prado* [Tesis de posgrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/39fbdc94-2ef5-4b30-af2-b89ca1c311bb>
- Balboa-Murias, M.A., Rojo, J.G., Álvarez-González, A.M. (2006). Carbon and nutrient stocks in mature *Quercus robur* L. stands in NW Spain. *Annals of Forest Science*. 63:557-565.
- Baltazar, A. (2007). Carbono aéreo almacenado en una plantación de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Martius) de un año de edad, en el Centro Poblado Nuevo Edén, Alto Madre de Dios. [tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/563>
- Castañeda, A., Vargas, J., Gómez, A., Valdez, J., Vaquera, H. (2005). Acumulación de carbono en la biomasa aérea de una plantación de *Bambusa oldhamii*. *Agrociencia*, 39: 107-116.
- Chapin, F.S. y V.T. Eviner. (2005). Primary production. *Biogeochemistry*, 8, 215–247
- Cifuentes, J. M. (2010). ABC del cambio climático en Mesoamérica. Turrialba, Costa Rica. Serie Técnica. Informe Técnico / CATIE.
- Cole, T. G., & Ewel, J. J. (2006). Allometric equations for four valuable tropical tree species. *Forest Ecology and Management*, 229(1–3), 351–360. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.04.017>
- Cortés-Sánchez, B. G., Ángeles-Pérez, G., De los Santos-Posadas, H. M., & Ramírez-Maldonado, H. (2019). Ecuaciones alométricas para estimar biomasa en especies de

- encino en Guanajuato, México. *Madera y Bosques*, 25(2), e2521799. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2521799>
- Cotrufo, M. (2010). Litter decomposition: Concepts, methods and future perspectives. *Soil Carbon Dynamics: An Integrated Methodology*, 76-90.
- Cuenca, M. E., Jadán, O., Cueva, K. y Aguirre, C. (2014). Carbono y ecuaciones alométricas para grupos de especies y bosque de tierras bajas, Amazonía Ecuatoriana. *CEDAMAZ*, 4 (1): 21-31.
- Douterlungne, D., Herrera-Gorocica, A. M., Ferguson, B. G., Siddique, I., & Soto-Pinto, L. (2013). Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono de cuatro especies leñosas neotropicales con potencial para la restauración. *Agrociencia*, 47(4), 385–397.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2007. Situación de los bosques del mundo. (en línea). Consultado el 11 de octubre del 2010. Disponible en <http://www.fao.org/icatalog/inters.Htm>.
- Figuroa, C., Etchevers, J., Velásquez, A., Acosta, M. (2005). Concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación de la Sierra Norte de Oaxaca. (Redalyc, Ed.) *Terra Latinoamericana*, 23(1), 57 - 64.
- Figuroa, N. C. M., Ángeles, P. G., Velásquez, M. A., y De Los Santos, P., H. M. (2010). Estimación de la biomasa en un bosque bajo manejo de *Pinus patula* Schltdl. et Cham. en Zacualtipán, Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 1(1): 147 -157.
- Fonseca González, W., Rojas Vargas, M., Villalobos Chacón, R., & Alice Guier, F. (2019). Estimación de biomasa y carbono en árboles de *Cupressus lusitanica* Mill. en Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales (Trop J Environ Sci)*, 57(2), 105–121. <https://doi.org/10.15359/rca.57-2.5>
- 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
- Fonseca, G. W., Alice, G. F. y Rey, B. J. M. (2009). Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. *Bosque*, 30 (1): 36-47.
- García, D., García, G., Jiménez, J. (2019). Carbono y dióxido de carbono almacenado en una plantación de *Tectona grandis* de 4 y 5 años en México. *Revista Latinoamericana de*

Recursos Naturales. 15 (1): 28-34.

- Gayoso, J. (2002). Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques nativos y plantaciones de Chile. *Revista Foresta Iberoamericana* Vol. 1 No 1. Chile.
- Gómez-García, E., Pérez-Rodríguez, F. (2015). Evolución de la biomasa y del carbono acumulado por *Quercus robur* en Galicia (España). *Bosque*. 36:255-264.
- Gorbitz, G. (2011). Determinación de las Reservas de Carbono en la biomasa aérea en plantaciones de 8 años de *Calycophyllum spruceanum* b. en el Valle del Aguaytía. [tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Molina]. Repositorio Institucional UNALM. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/1670>.
- Herrera, M. (2002). Biomasa de la vegetación herbácea y leñosa pequeña y necromasa en el área de influencia de la Central Hidroeléctrica Porce II. [Tesis pregrado, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín] Repositorio UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2975>
- Higuchi, N; Santos, J; Ribeiro, R; Miente, L; Biot, Y. (1998). Biomasa de parte aérea da vegetao da floresta tropical úmida de terra - firme da Amazônia brasileira. *Acta Amazonica* 28:153- 166.
- IPCC (Informe de síntesis de Cambio Climático).2007. Grupo Intergubernamental de expertos sobre cambio climático. (Informe). Ginebra, Suiza, 104 Pg.
- Jiménez, J., Telles, R., Alanis, E., Yerena, J., García, D., Gómez, M. (2020). Estimación del carbono almacenado en una plantación de *Tectona grandis* L. f. mediante ecuaciones alométricas. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 11(57): 32-56.
- López, H., Vaidés, E., Alvarado, A. (2017). Evaluación de carbono fijado en la biomasa aérea de plantaciones de teca en Chahal, Alta Verapaz, Guatemala. *Agronomía Costaricense*. 42 (1): 137-153.
- Lino Zevallos, K. (2009). *Determinación del stock de biomasa y carbono en las sucesiones secundarias de bolaina en la cuenca media del río Aguaytía, Ucayali, Perú* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ucayali]. Repositorio Alicia. [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNU\\_93c607cfc83ca3aa351b1dea931150c0](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNU_93c607cfc83ca3aa351b1dea931150c0)
- Marroquín-Morales, P., Jiménez-Pérez, J., Yerena-Yamallel, J. I., & Reyes-Reyes, J. (2023).

- Modelos alométricos para estimar biomasa aérea en una plantación de *Tectona grandis* L. f. en Yucatán. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 10(2), e3566. <https://doi.org/10.19136/era.a10n2.3566>
- Neira Valerio, Y. (2009). *Cuantificación de biomasa y carbono en plantaciones de Guazuma crinita Mart. y asociación de Guazuma crinita Mart. con Theobroma cacao L. – Satipo* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3973>
- Pons, J. (2005). La biomasa como fuente de energía renovable, en *Anales de la Real Academia Española para la Química*. 32-40.
- Quintana Garrido, A. C. (2008). *Biomasa aérea y contenido de carbono en una plantación de siete años de Quillaja saponaria Mol. del secano interior de Chile Central* [Memoria de pregrado, Universidad de Chile].
- Revilla, J., López, E., Guerra, W., García, D., Rojas, K., Domínguez, G., Abanto, C. (2021). Modelos alométricos de biomasa de árboles de *Guazuma crinita* Mart en plantaciones forestales de Ucayali, Perú. *Rev. Scientia Agropecuaria*. 12(4): 579- 587.
- Reynel, C; Pennington, T.D; Pennington, R.T; Flores, C; Daza, A. (2003). Árboles útiles de la Amazonía peruana y sus usos. Darwin Initiative, ICRAF. Lima, Perú. 509p.
- Revilla-Chávez, J. M., López-Galán, E. E., Guerra-Arévalo, W. F., García-Soria, D. G., Rojas-Mego, K. C., Domínguez-Torrejón, G., & Abanto-Rodríguez, C. (2021). Modelos alométricos de biomasa de árboles de *Guazuma crinita* Mart. en plantaciones forestales de Ucayali, Perú. *Scientia Agropecuaria*, 12(4), 579–587. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.062>
- Rodríguez, S. (2014). Estimación del potencial de captura de carbono de la especie capirona (*Calycophyllum spruceanum*) en el centro ecológico la Julianita 2012. [Tesis pregrado, Universidad Nacional de San Martín] Repositorio UNSM. <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/146>
- Rügnitz, M., Chacón, M., Porro, R. (2009). Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. Lima, Perú.
- Rueda Sánchez, A., Gallegos Rodríguez, A., González Eguiarte, D., Ruiz Corral, J. A., Benavides Solorio, J. de D., López Alcocer, E., & Acosta Mireles, M. (2014). Estimación

de biomasa aérea en plantaciones de *Cedrela odorata* L. y *Swietenia macrophylla* King. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(25), 8–17.  
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v5i25.382>

Ruíz Céspedes, L. (2011). *Modelos alométricos para la estimación de biomasa en *Alnus acuminata* (Kunth) en Costa Rica* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional]

Samaniego, D. (2009). Estimación de la cantidad de carbono capturado por *Guazuma crinita* en una plantación de 8 años en Ucayali. [tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Molina]. Repositorio Institucional UNALM.  
<https://hdl.handle.net/20.500.12996/1666>

Soriano-Luna, M. de los Á., Ángeles-Pérez, G., Martínez-Trinidad, T., Plascencia-Escalante, F. O., & Razo-Zárate, R. (2015). Estimación de biomasa aérea por componente estructural en Zacualtipán, Hidalgo, México. *Agrociencia*, 49(4), 423–438.

Soriano Aylas, F. M. (2024). *Determinación de la biomasa y captura de carbono de la especie *Guazuma ulmifolia* (bolaina) por hectárea en el bosque del distrito de San Ramón-Selva Central en el año 2023* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio Institucional UNDAC.  
<http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/4216>

Vallejo, M. (2005). Establecimiento de parcelas permanentes en bosques de Colombia. IavH. Bogotá – Colombia. 275 p. Bogota - Colombia.

Vargas, P. (2009). El Cambio Climático y Sus Efectos en el Perú. Banco Central de Reserva del Perú. Working Paper series. Perú.

Zavala Solórzano, J. W., Zavala Guerrero, S. L., & Mansilla Minaya, L. G. (2018). Estimación de la biomasa y carbono almacenado en un sistema agroforestal del cafetal de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. *Investigación y Amazonía*, 8(5), 1–8.

## **ANEXO**

**Tabla 6.** Peso fresco y seco de la biomasa del fuste, ramas y hojas

Subparcel	Fuste		Ramas		Hojas	
	Peso fresco(kg)	Peso seco(kg)	Peso fresco(g)	Peso seco(kg)	Peso fresco(kg)	Peso seco(kg)
a						
P1	441,00	237,88	103,00	53,56	13,00	5,79
P1	443,00	242,00	103,00	51,09	13,00	6,31
P1	410,00	222,16	113,00	63,51	12,00	5,46
P2	417,00	212,10	110,00	57,42	14,00	7,28
P2	443,00	241,15	117,00	63,18	16,00	8,72
P3	417,00	216,52	121,00	64,13	15,00	6,00
P3	439,00	229,97	98,00	54,49	15,00	7,88
P4	408,00	215,46	105,00	57,54	16,00	7,68
P4	417,00	227,01	98,00	49,59	15,00	7,58

**Tabla 7.** Variables dasométricas de los árboles de la subparcela N° 1

N° árbol	DAP(cm)	ALTURA(m)	Biomasa (kg)
1	27,06	18,50	354,73
2	22,28	24,68	362,25
3	26,42	16,36	353,15
4	19,42	19,72	350,26
5	21,96	16,54	344,83
6	21,96	19,81	352,01
7	22,92	10,38	335,45
8	24,51	22,72	356,89
9	27,06	24,86	355,73
10	24,83	21,21	355,12
11	22,92	29,42	369,97
12	25,46	26,69	359,49
13	21,65	16,64	344,45
14	32,15	24,68	348,72
15	24,19	16,45	348,91
16	26,10	26,69	358,10
17	18,46	17,51	341,71
18	23,87	15,86	347,45
19	19,10	22,81	360,38
20	23,24	22,72	357,64
21	19,10	24,59	366,31
22	26,10	18,59	353,73
23	25,15	17,51	351,72
24	21,33	21,30	355,29
25	23,24	26,88	364,65

26	23,55	24,59	360,36
27	21,01	17,69	346,00
28	19,74	26,97	372,81
29	30,56	17,33	360,04
30	20,69	24,40	363,70
31	18,14	14,80	331,16
32	19,42	15,49	336,67
33	22,28	19,81	352,20
34	20,05	14,80	336,08
35	20,05	15,68	338,67
36	19,42	16,64	340,34
37	24,19	24,86	359,87
38	24,51	19,72	353,37
39	17,19	18,59	344,25
40	23,24	12,93	341,15
41	17,83	22,72	360,82
42	28,65	24,68	353,52

**Tabla 8.** Variables dasométricas de los árboles de la subparcela N° 2

N° árbol	DAP (cm)	Altura (m)	Biomasa (kg)
1	18,780	18,500	345,628
2	19,735	19,815	350,735
3	26,101	18,591	353,731
4	27,375	21,117	355,161
5	15,597	14,800	324,585
6	27,056	18,409	354,718
7	23,873	15,584	347,058
8	23,555	18,591	351,023
9	27,056	24,586	355,690
10	25,783	26,877	358,917
11	28,966	17,509	357,434
12	26,420	26,877	357,484
13	21,008	18,500	348,079
14	24,828	24,405	358,474
15	23,555	21,117	354,957
16	16,870	18,500	343,527
17	27,056	22,720	355,397
18	21,645	19,632	351,408
19	22,282	24,586	362,062
20	27,375	14,180	354,952
21	29,284	15,675	359,256
22	26,738	17,417	354,073
23	28,330	14,180	357,652
24	28,330	16,451	356,853

25	21,645	17,326	346,054
26	26,420	21,208	355,148
27	30,239	17,601	359,236
28	29,921	22,812	353,621
29	21,327	17,417	345,777
30	18,780	24,495	366,419
31	31,513	26,877	346,021
32	25,146	21,117	355,042
33	28,011	15,584	356,437
34	28,330	26,969	353,153

**Tabla 9.** Variables dasométricas de los árboles de la subparcela N° 3

N° árbol	DAP (cm)	Altura (m)	Biomasa (kg)
1	13,369	24,405	372,934
2	14,961	19,723	347,537
3	22,918	16,360	346,301
4	16,870	11,223	312,734
5	27,056	13,257	353,906
6	21,327	14,892	339,592
7	29,284	13,026	361,200
8	21,645	14,088	338,535
9	23,873	16,360	348,169
10	24,191	14,800	346,758
11	15,279	19,542	346,849
12	27,375	16,543	355,023
13	28,648	15,584	357,880
14	16,552	14,709	326,653
15	22,600	18,319	349,478
16	26,101	16,270	352,479
17	25,146	14,800	349,222
18	20,690	26,969	370,630
19	26,738	24,677	356,141
20	24,828	15,584	349,223
21	23,873	16,360	348,169
22	23,237	16,360	346,924
23	21,645	16,451	344,022
24	26,420	19,723	354,536
25	25,465	17,509	352,194
26	22,600	11,694	336,627
27	33,741	22,629	351,694
28	35,651	17,417	367,738
29	25,465	19,815	354,025

**Tabla 10.** Variables dasométricas de los árboles de la subparcela N° 4

N° árbol	DAP (cm)	Altura (m)	Biomasa (kg)
1	38,834	18,777	366,427
2	29,284	18,871	356,911
3	26,101	22,997	356,108
4	25,783	21,301	355,199
5	25,146	16,728	350,998
6	28,648	18,871	356,305
7	26,738	25,052	356,248
8	29,284	16,451	358,686
9	18,462	26,877	375,396
10	30,876	16,635	361,489
11	27,693	15,675	355,707
12	24,828	15,768	349,415
13	23,873	26,969	363,348
14	25,146	18,777	352,886
15	19,099	15,077	334,544
16	25,465	18,500	352,981
17	17,507	15,584	332,630
18	30,239	21,394	355,005
19	26,420	17,694	353,699
20	22,918	15,955	345,566
21	16,870	21,208	354,988
22	28,966	17,601	357,378
23	28,966	15,493	358,656
24	28,966	21,208	355,190
25	18,462	17,509	341,714
26	23,873	18,591	351,361
27	29,921	26,695	349,783
28	25,465	16,635	351,500
29	17,507	15,768	333,361
30	30,876	15,675	362,804
31	29,284	25,343	352,162
32	19,735	16,635	340,924
33	30,558	24,770	350,790
34	25,146	13,622	348,136
35	16,552	12,751	318,117
36	30,876	16,543	361,616
37	25,465	15,768	350,811
38	21,008	22,904	359,427
39	20,372	19,907	351,362

**Tabla 11.** Pesos de herbácea de la subparcela N° 1

N°	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Biomasa (t/ha)
M1	15	11	0,11
M2	12	8	0,08
M3	20	13	0,13
M4	21	12	0,12
M5	16	10	0,1
M6	15	11	0,11

**Tabla 12.** Pesos de herbácea de la subparcela N° 2

N°	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Biomasa (t/ha)
M1	9	4	0,04
M2	11	6	0,06
M3	17	11	0,11
M4	16	10	0,1
M5	14	9	0,09
M6	8	6	0,06

**Tabla 13.** Pesos de herbácea de la subparcela N° 3

N°	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Biomasa (t/ha)
M1	17	11	0,11
M2	21	13	0,13
M3	19	14	0,14
M4	18	11	0,11
M5	11	6	0,06
M6	13	7	0,07

**Tabla 14.** Pesos de herbácea de la subparcela N° 4

N°	Peso húmedo (kg)	Peso seco (g)	Biomasa (t/ha)
M1	22	15	0,15
M2	11	7	0,07
M3	16	10	0,1
M4	10	6	0,06
M5	12	6	0,06
M6	10	5	0,05

**Tabla 15.** Pesos de hojarasca de la subparcela N° 1

N°	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Biomasa (t/ha)
M1	23	11	0,44
M2	24	10	0,4
M3	22	12	0,48
M4	21	10	0,4
M5	18	11	0,44
M6	29	13	0,52

**Tabla 16.** Pesos de hojarasca de la subparcela N° 2

N°	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Biomasa (t/ha)
M1	30	18	0,72
M2	26	13	0,52
M3	27	12	0,48
M4	33	16	0,64
M5	21	10	0,4
M6	20	9	0,36

**Tabla 17.** Pesos de hojarasca de la subparcela N° 3

N°	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Biomasa (t/ha)
M1	35	19	0,76
M2	29	17	0,68
M3	22	14	0,56
M4	23	15	0,6
M5	24	15	0,6
M6	19	12	0,48

**Tabla 18.** Pesos de hojarasca de la subparcela N° 4

N°	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Biomasa (t/ha)
M1	32	15	0,6
M2	26	13	0,52
M3	27	14	0,56
M4	28	14	0,56
M5	30	15	0,6
M6	20	9	0,36



**Figura 8.** Delimitación de las parcelas de *Guazuma crinita*



**Figura 9.** Instalación del banner de la tesis



**Figura 10.** Visita de los miembros del jurado a la verificación de la tesis



**Figura 11.** Apeado de los árboles seleccionados



**Figura 12.** Trozado del fuste de *Guazuma crinita* para su pesaje



**Figura 13.** Peso fresco del fuste



**Figura 14.** Separación de las hojas y ramas de *Guazuma crinita*



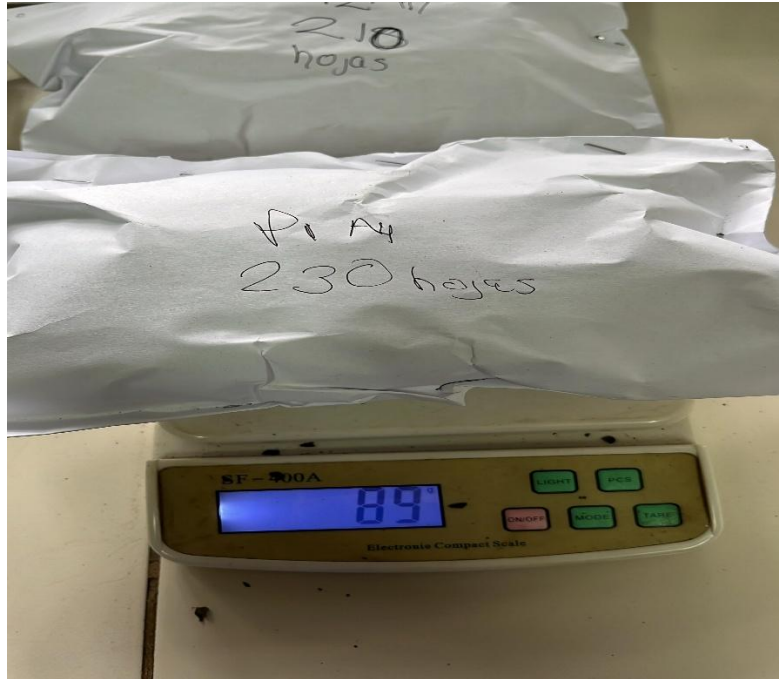
**Figura 15.** Peso fresco de las ramas y hojas



**Figura 16.** Colecta de hojarasca



**Figura 17.** Peso seco de las submuestras del fuste de *Guazuma crinita*



**Figura 18.** Peso seco de la muestra de las ramas y hojas