

Estimación de biomasa aérea y almacenamiento de carbono acumulado por las especies arbóreas

*Albizia carbonaria* Britton y *Dacryodes colombiana* Cuatrec

Arley Estiven Suarez Prieto, Cristhian Steven Perilla Teatin

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Forestal

Director

Ronald Alfonso Montañez Valencia

MSc Conservación y Uso Sostenible de Sistemas Forestales

Codirector

Miguel Ángel Peña Hernández

Dr(c). Ecología

Universidad Industrial de Santander

Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia - IPRED

Programa de Ingeniería Forestal

Bucaramanga

2024

### **Dedicatoria**

Dedico este proyecto a mis padres Blanca Cecilia Prieto y Jesús Suarez Suarez por su apoyo incondicional durante todo el proceso educativo, quienes, con su esfuerzo y dedicación aportaron a mi crecimiento personal y profesional; a mi hermano e hija por la motivación y voz de aliento que lograron brindarme día a día.

**Arley Estiven Suarez Prieto**

Este proyecto está dedicado en primer lugar a Dios quien me permitió culminar con esta etapa tan importante, quien me dio fuerzas y mil motivos para seguir adelante. Lo dedico con mucho cariño y amor a mi mamá Isabel Teatin y a mi papá Nelson Perilla García, pues soy el fruto de su entrega, esfuerzo y educación, a toda mi familia mi gratitud e infinito cariño. A mi compañero

Arley Estiven Prieto, por todo el apoyo, entendimiento, compañerismo y sinceridad, este proyecto que me sirvió para generar lazos de hermandad.

**Cristhian Steven Perilla Teatin**

### **Agradecimientos**

Agradecemos a la UIS sede Málaga por permitir formarnos como profesionales y como personas, a todos los docentes que nos brindaron su conocimiento durante el proceso académico y a las mujeres encargadas del aseo por mantener las aulas en condiciones adecuadas para generar un ambiente agradable de estudio, expresamos total reconocimiento y gratitud.

Expresamos un profundo agradecimiento a doña Viviana Gonzales Jaimes y a don Raúl Benites Reyes, quienes nos dieron la oportunidad de tomar los datos de campo en sus predios localizados en el Carmen de Chucurí, por su hospitalidad y acompañamiento incondicional en todas las actividades que realizamos para lograr alcanzar nuestros objetivos.

A nuestro director Ronald Alfonso Montañez y codirector Miguel Ángel Peña por acogernos como sus tesisistas, por orientarnos en cada una de las actividades realizadas para cumplir los objetivos planteados. Gracias por su compromiso, dedicación y tiempo todas las veces necesarias para hacer de este proyecto lo mejor.

**Tabla de contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	13
1. Objetivos .....	15
1.1 Objetivo general.....	15
1.2 Objetivos específicos .....	15
2. Marco teórico .....	16
2.1 <i>Dacryodes colombiana</i> .....	16
2.2 <i>Albizia carbonaria</i> .....	16
2.3 Método destructivo y modelos alométricos .....	17
2.4 Biomasa y captura de Carbono (CO <sub>2</sub> ).....	18
3. Metodología .....	20
3.1 Área de estudio .....	20
3.2 Toma de datos en campo.....	21
3.3 Método destructivo .....	22
3.3.1 Apeo.....	22
3.3.2 Peso fresco.....	22
3.4 Recolección de muestras.....	22
3.4.1 Hojas.....	22

3.4.2 Ramas menores y mayores .....	23
3.4.3 Fuste.....	23
3.5 Laboratorio.....	23
3.5.1 Secado de muestras.....	23
3.5.2 Densidad de la madera.....	24
3.6 Análisis de datos .....	24
3.6.1 Biomasa aérea.....	24
3.6.2 Contenido de carbono .....	25
3.6.3 Modelo alométrico.....	25
4. Resultados .....	25
5. Discusión.....	34
6. Conclusiones .....	36
7. Recomendaciones.....	37
Referencias bibliográficas .....	38
Apéndices .....	43

**Lista de tablas**

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> Biomasa por componente del Anime.....	29
<b>Tabla 2</b> Biomasa por componente del Galapo.....	29
<b>Tabla 3</b> Porcentajes de pérdida de peso .....	30
<b>Tabla 4</b> Correlación de Pearson .....	32
<b>Tabla 5.</b> Modelos alométricos.....	32
<b>Tabla 6.</b> Datos estadísticos.....	33

**Lista de figuras**

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Ubicación area de estudio .....	21
<b>Figura 2.</b> Localización individuos apeados .....	26
<b>Figura 3.</b> Volumen teórico y real del Anime .....	26
<b>Figura 4.</b> Volumen teórico y real del Galapo .....	27
<b>Figura 5 .</b> Biomasa aérea Dacryodes colombiana .....	28
<b>Figura 6.</b> Biomasa aérea Albizia carbonaria.....	28
<b>Figura 7.</b> Secado muestras del Anime .....	30
<b>Figura 8 .</b> Secado muestras del Galapo .....	31

**Lista de apéndices**

**Apéndice A.** Formato de campo para la recolección de información..... 43

**Apéndice B.** Formato de componente de cubicación ..... 43

**Apéndice C.** Colección de información..... 44

### Glosario

**Alométrico:** se refiere a la tasa diferencial de crecimiento en varias partes o dimensiones de los organismos durante los procesos involucrados en el crecimiento de las plantas.

**Aprovechamiento forestal:** Es la extracción de productos de un bosque y comprende desde la obtención hasta el momento de su transformación.

**Biomasa aérea:** es definida como la suma total de materia orgánica de las ramas, hojas, flores, frutos, tronco y corteza.

**Cambio climático:** este se entiende como un cambio de clima relacionado directa o indirectamente con la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad climática natural observada durante periodos de tiempo comparables.

**Captura de carbono:** la captura de carbono se define como la capacidad de almacenamiento a largo plazo de carbono en las plantas, suelo, formaciones geológicas y océanos.

**Carbono:** elemento químico de número atómico seis (6), abundante en la naturaleza, tanto en los seres vivos como en el mundo mineral y en la atmósfera, se presenta, entre otras formas, en diamante y grafito, constituye la base de la química orgánica y tiene importancia biológica.

**Dendrometría:** la dendrometría es una disciplina enfocada en medir y cuantificar árboles y sus componentes como diámetro, altura, volumen, forma, densidad y otras características relacionadas. Es muy importante para la ciencia forestal y se utiliza ampliamente en áreas como la gestión forestal, la silvicultura, la investigación científica y la evaluación de recursos forestales.

**Densidad de la madera:** es la relación que existe entre la masa y el volumen, además, es una característica que está íntimamente relacionada con las propiedades de resistencia de la madera, propia de cada especie arbórea.

**Gases de efecto invernadero (GEI):** gases de efecto invernadero integrantes de la atmósfera, de origen natural y antropogénico, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de ondas del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera, y las nubes.

**Método destructivo:** consiste en derribo o apeo del árbol, separando sus componentes y procediendo a pesar en campo (peso húmedo en kg), el fuste, las ramas, las hojas y raíces.

**Método no destructivo:** consiste en utilizar las ecuaciones o modelos alométricos que actualmente existen en la literatura técnica y científica. Los cuales fueron generados a partir del método directo, con el fin de realizar los cálculos de biomasa.

**Modelo alométrico:** son ecuaciones matemáticas que permiten estimar el volumen, la altura, la biomasa y el almacenamiento de carbono en árboles, arbustos y palmas.

**Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC):** se encarga de preparar informes de evaluación integrales sobre el estado del conocimiento científico, técnico y socioeconómico sobre el cambio climático, sus impactos y riesgos futuros, y opciones para reducir el ritmo al que se está produciendo el cambio climático.

## Resumen

**Título:** Estimación de biomasa aérea y almacenamiento de carbono acumulado por las especies arbóreas *Albizia carbonaria* Britton y *Dacryodes colombiana* Cuatrec\*

**Autor:** Arley Estiven Suarez Prieto y Cristhian Steven Perilla Teatin\*\*

**Palabras Clave:** Cambio climático, Conservación, Método destructivo, Modelo alométrico.

**Descripción:** El calentamiento global está afectando el entorno natural y social, ya que las temperaturas en todo el mundo siguen aumentando a medida que aumenta la concentración de Gases de efecto invernadero en la atmósfera. Conocer la cantidad de carbono almacenado en coberturas y especies arbóreas contribuye a la toma de acciones que aporten a la fijación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) desde la atmósfera. Este estudio se enfocó en la cuantificación de la biomasa aérea y el almacenamiento de carbono acumulado de las especies maderables *Albizia carbonaria* (Galapo) y *Dacryodes colombiana* (Anime) mediante la aplicación de métodos de aprovechamiento forestal o métodos destructivos, por otra parte, se plantearon dos modelos alométricos que permitieran cuantificar la biomasa de las especies mediante métodos no destructivos. El proyecto se realizó en el municipio El Carmen de Chucurí, Santander en la Vereda La Bodega, en donde se apearon un total de seis individuos por especie. Realizado el derribo de los árboles se pesaron los individuos separándoles por componente es decir fuste, ramas menores, ramas mayores y hojas, además, se recolectó 1 kg de muestras por cada componente de los 12 individuos para ser sometidas a un proceso de secado a 105°C durante 48 h. Se cuantificó la biomasa aérea donde se obtuvo un total de 8876 kg para *A. carbonaria* y 10778 kg para *D. colombiana*, en base a estos datos se llevó a cabo el procesamiento y análisis en el software *RStudio* y *IBM SPSS Statistics 21*, donde se generó un modelo alométrico por especie  $B=0,0713x(H\rho DAP^2)^{0,958}$  para Anime y  $B=0,0698x(H\rho DAP^2)^{0,926}$  para Galapo. Las dos especies arbóreas tiene un potencial en la zona para capturar carbono, sin embargo, *A. carbonaria* tiene una mayor capacidad de almacenar carbono lo que resalta la importancia de la especie para promover proyectos de incentivos por bonos de carbono.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia. Programa de Ingeniería Forestal. Director: Ronald Alfonso Montañez Valencia MSc Conservación y Uso Sostenible de Sistemas Forestales. Codirector: Miguel Ángel Peña Dr(c). Ecología

### Abstract

**Title:** Estimation of aboveground biomass and carbon storage accumulated by the tree species *Albizia carbonaria* Britton and *Dacryodes colombiana* Cuatrec \*

**Author(s):** Arley Estiven Suarez Prieto, Cristhian Steven Perilla Teatin \*\*

**Key Words:** Allometric model, Climate change, Conservation, Destructive method.

**Description:** Global warming is affecting the natural and social environment, as temperatures around the world continue to rise as the concentration of greenhouse gases in the atmosphere increases. Knowing the amount of carbon stored in covers and tree species contributes to taking actions that contribute to the fixation of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) from the atmosphere. This study focused on the quantification of the aerial biomass and the accumulated carbon storage of the timber species *Albizia carbonaria* (Galapo) and *Dacryodes colombiana* (Anime) through the application of forestry harvesting methods or destructive methods. On the other hand, two allometric models were proposed that would allow quantification of the biomass of the species using non-destructive methods. The project was carried out in the municipality of El Carmen de Chucurí, Santander in the Vereda La Bodega, where a total of 6 individuals per species were landed. Once the trees were felled, the individuals were weighed, separating them by component, that is, stem, minor branches, major branches and leaves. In addition, 1 kg of samples were collected for each component of the 12 individuals to be subjected to a drying process at 105 °C for 48 hours. It was possible to quantify the aerial biomass where a total of 8876 kg was obtained for *A. carbonaria* and 10778 kg for *D. colombiana*. Based on these data, the processing and analysis was carried out in the software RStudio and IBM SPSS Statistics 21, where an allometric model was generated per species  $B=0,0713x(H\rho DAP2)^{0,958}$  for Anime and  $B=0,0698x(H\rho DAP2)^{0,926}$  for Galapo. The two tree species have potential in the area to capture carbon, however, *A. carbonaria* has a greater capacity to store carbon, which highlights the importance of the species to promote carbon credit incentive projects.

---

\* Degree Work

\*\* Institute of Regional Projection and Distance Education. Forest Engineering Program.

Director: Ronald Alfonso Montañez Valencia MSc. Conservation and Sustainable Use of Forest Systems. Co-director: Miguel Angel Peña Dr(c). Ecology.

## Introducción

Las variaciones en las condiciones climáticas producto del proceso de calentamiento global han generado interés científico y geopolítico en la humanidad desde el siglo XXI (Torbjörn et al., 2020). Dicho fenómeno, exhibe alteraciones de la temperatura promedio en los océanos y la superficie continental; por anomalías en las concentraciones bioquímicas de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera. Entre los contribuyentes a los GEI, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) representa el 75% de las emisiones totales, seguido por metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), con aportes del 17 y 6% respectivamente (IPCC, 2022).

Las afectaciones en entornos naturales y sistemas de producción se ven reflejadas en la pérdida de biodiversidad y la vulnerabilidad de las comunidades (Rodríguez et al; 2020). En Colombia el calentamiento global está afectando el entorno natural y social, pues las temperaturas medias en todo el país siguen aumentando a medida que aumenta la concentración de GEI en la atmósfera. Por otra parte, el planeta está sufriendo cambios en sus patrones climáticos, que incluyen la variabilidad en las precipitaciones y la intensificación de eventos climáticos extremos, como sequías e inundaciones. Estos cambios pueden generar un impacto significativo en la economía, la agricultura y la seguridad alimentaria del país (Muñoz et al., 2019).

La cuantificación de la biomasa (t/ha) y, por ende, el almacenamiento de carbono acumulado en los bosques naturales y plantaciones forestales, se puede estimar mediante variables como la densidad, edad, diámetro y altura de los árboles, Por lo tanto, conocer la cantidad de carbono almacenado en coberturas y especies arbóreas contribuye a la toma de acciones que aporten a la fijación de CO<sub>2</sub> desde la atmosfera (Mirez,2021).

El mercado de bonos de carbono ha surgido como un escenario especial para el beneficio de la superioridad comparativa que posee Colombia respecto a su potencial ecosistémico y bioenergético. Las oportunidades de mercado creadas por los esfuerzos globales para limitar los efectos del cambio climático y las emisiones de GEI, han creado una variedad de alternativas en la actividad económica desde el 1997 cuando se aprobó el protocolo de Kioto, principalmente en 2005 cuando empezó a regir (Quintero, 2021).

Finalmente, la orientación académica del presente estudio se logró enfocar en la necesidad de estimar la biomasa y el almacenamiento de carbono acumulado de las especies maderables *Albizia carbonaria* y *Dacryodes colombiana* mediante la aplicación de métodos de aprovechamiento forestal o métodos destructivos. De igual manera, se pretendió ofrecer respuestas con fundamento científico a los siguientes interrogantes: 1. ¿De acuerdo con las diferentes metodologías de investigación, existen diferencias en la biomasa aérea entre *A. carbonaria* y *D. colombiana*?; 2. ¿Qué varianza hay entre las metodologías de estimación de biomasa aérea por alometría y métodos destructivos? Siendo esta información valiosa para la toma de decisiones en la conservación y manejo sostenible de los recursos forestales (Bernachea, 2019).

## 1. Objetivos

### 1.1 Objetivo general

Ajustar modelos alométricos de biomasa aérea para las especies arbóreas *Dacryodes colombiana* (Anime) y *Albizia carbonaria* (Galapo) en la vereda Pamplonita, San Vicente del Chucurí.

### 1.2 Objetivos específicos

Cuantificar la biomasa aérea de *Albizia carbonaria* y *Dacryodes colombiana*.

Estimar la biomasa aérea de *Albizia carbonaria* y *Dacryodes colombiana* para fuste, ramas menores, ramas mayores y hojas por medio de métodos destructivos.

Plantear modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea en las especies arbóreas de *Albizia carbonaria* y *Dacryodes colombiana*.

## 2. Marco teórico

### 2.1 *Dacryodes colombiana*

El Anime (*Dacryodes colombiana*) es un árbol de la familia de las Burseraceae que se distribuye por las regiones cálidas del Pacífico y del Magdalena medio, alcanzando los 20 m de altura, con un exudado blanco o transparente con olor a trementina. Posee hojas alternas formadas por siete a nueve folíolos lanceolados, de hasta 15 cm de largo, flores masculinas y femeninas en diferentes plantas, dispuestas en racimos sobresaliendo en el ápice de la rama, frutos carnosos, esféricos, negros al madurar, con una semilla en su interior, que se comen las aves silvestres (Bernal et al., 2012).

### 2.2 *Albizia carbonaria*

El Galapo, carbonero, pisquín o mucho (*Albizia carbonaria*) es una especie que se desarrolla en bosques húmedos tropicales que se encuentra naturalmente en Panamá, el Norte de Colombia y el oeste de Venezuela y fue introducida como planta de sombra en sistemas agroforestales con café en América Central, América del Sur y las Antillas (Avilés, 2017).

En Colombia esta especie se encuentra en altitudes entre los 700 y 1700 m s. n. m., con precipitaciones anuales entre 1500 y 1900 mm, se adapta a suelos arcillosos, suelos ácidos y zonas inundables. Esta especie no sólo es importante por los servicios ambientales que proporciona su rápido crecimiento y aporte de sombra, sino también por su relevancia para restaurar áreas degradadas, proteger los suelos de la erosión, mantener la biodiversidad y fijar nitrógeno en el suelo (Bernal et al., 2012).

### 2.3 Método destructivo y modelos alométricos

El trabajo titulado “Generación de modelos alométricos para determinar la biomasa aérea a nivel de especies, mediante el método destructivo de baja intensidad para el estrato de bosque seco pluvioestacional del Ecuador” tuvo como objetivo principal el desarrollo de modelos alométricos para la estimación de la biomasa aérea de especies forestales en el bosque seco pluvioestacional del Ecuador (Solano, 2014). La metodología utilizada se basó en las pautas propuestas por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), empleadas en la Evaluación Nacional Forestal (ENF) (Aldaz, 2020).

Se aplicaron distintos modelos estadísticos con el fin de generar los modelos alométricos, dando prioridad a la correlación entre el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la biomasa, dado que esta variable resulta de fácil medición en campo y se correlaciona frecuentemente con la biomasa. Se consideraron especies con un mínimo de ocho árboles medidos, siguiendo la recomendación de obtener un coeficiente de determinación  $R^2 > 0,8$  (Arone, 2019).

En Colombia, el aprovechamiento forestal está regulado principalmente por el decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible 1076 del 2015. Este decreto establece los principios, objetivos, instrumentos y mecanismos para la gestión sostenible de los bosques y el aprovechamiento de los recursos forestales en el país. Además, impone los reglamentos y normativas complementarias que detallan aspectos específicos relacionados con el manejo forestal y la conservación de los recursos naturales (Arias, 2020).

En Colombia se ha priorizado el modelo de forestería comunitaria en ocho departamentos (Antioquia, Bolívar, Cauca, Chocó, Huila, Tolima, Valle del Cauca y Putumayo), en donde se han presentado tasas de deforestación significativas, allí se realizó la caracterización de la cadena de

la madera de cada núcleo forestal, junto con la compilación de los costos de aprovechamiento. Como resultado se logró obtener que el costo promedio del aprovechamiento forestal, calculado hasta el centro de consumo y transformación más cercano en los núcleos considerados, fue de USD 114.7.m<sup>-3</sup>, con variaciones de +/- USD 57.8.m<sup>-3</sup>(Agudelo et al., 2022).

#### **2.4 Biomasa y captura de Carbono (CO<sub>2</sub>)**

Las plantas, a través de la fotosíntesis, logran capturar CO<sub>2</sub> y a su vez, lo transforman en azúcares que almacenan o hacen parte de sus tejidos (Thompson et al., 2023). La estimación de la biomasa y los mecanismos de captura de carbono son conceptos fundamentales en la investigación y conservación del medio ambiente, y que soportan la comprensión de los procesos de mitigación del cambio climático y la promoción de prácticas silviculturales sostenibles (Favero et al., 2020).

El trabajo titulado “Modelos Alométricos para la biomasa y carbono de *Albizia carbonaria* durante la fase de crecimiento vegetativo”, de los autores Criollo, Belalcázar y Burbano, aportan conocimientos claves con respecto al estudio enfocado en la especie forestal *A. carbonaria* y su capacidad para capturar carbono en sistemas agroforestales (Criollo et al., 2020).

Se evaluaron diversas variables, como la altura de la planta, el diámetro basal, el diámetro a la altura del pecho, el tiempo de crecimiento, el número de hojas y el diámetro de la raíz, con el propósito de determinar la acumulación de biomasa y las relaciones alométricas. Variables que fueron seleccionadas mediante análisis de correlación y regresión lineal paso a paso (Gargaglione, 2010).

En relación con los mecanismos de captura de carbono, se observó que la mayor cantidad de carbono se acumula en el tallo de la planta, seguido del follaje, las raíces y las ramas. El almacenamiento de carbono está condicionado por la especie, las condiciones climáticas, la

densidad de siembra, la capacidad de descomposición y la presencia de actividad microbiana (Kim, 2017).

Algunos estudios han estimado la biomasa y el volumen en especies forestales de bosques secos tropicales haciendo uso de variables independientes como el DAP, la altura total, el volumen y la biomasa de 589 árboles pertenecientes a 23 especies forestales en bosques secos tropicales caducifolios. Esto con el fin de estimar la contribución al stock total de carbono y generar créditos de carbono bajo REDD+ (Pati et al.,2022).

Se destaca el trabajo titulado “Captura de carbono en biomasa en plantaciones forestales y sistemas agroforestales en Armero-Guayabal, Tolima, Colombia”; donde su visión integral sobre el cambio climático y la importancia de los bosques y las plantaciones forestales, en la mitigación de este fenómeno. El objetivo principal del estudio fue analizar la capacidad de los sistemas agroforestales para fijar carbono y su contribución en la reducción de las emisiones de GEI (Merchán, 2019) .

Los tipos de uso del suelo, como los bosques, las plantaciones forestales y los sistemas agroforestales, desempeñan un papel crucial en la mitigación del cambio climático al actuar como sumideros de CO<sub>2</sub> atmosférico. Estos sistemas tienen la capacidad de fijar carbono en la biomasa, la necromasa y los suelos, lo que los convierte en una alternativa importante para reducir las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera (Ruiz, 2018).

Un estudio realizado por Wirabuana et al. (2020) en Indonesia, generaron un modelo alométrico específico de la biomasa en árboles individuales en un bosque comunitario; emplearon muestras destructivas de aproximadamente 120 árboles (30 árboles por especie) en *Aleurites moluccanus*, *Melia azedarach*, *Swietenia macrophylla* y *Tectona grandis*. La medición de la

biomasa se realizó en el componente de cada árbol, raíces, tallo, ramas y hojas. Allí se determinó que la biomasa promedio en el tallo fue de 50,3%, seguida de ramas 25,4%, raíces 15,9% y hojas 8,3%.

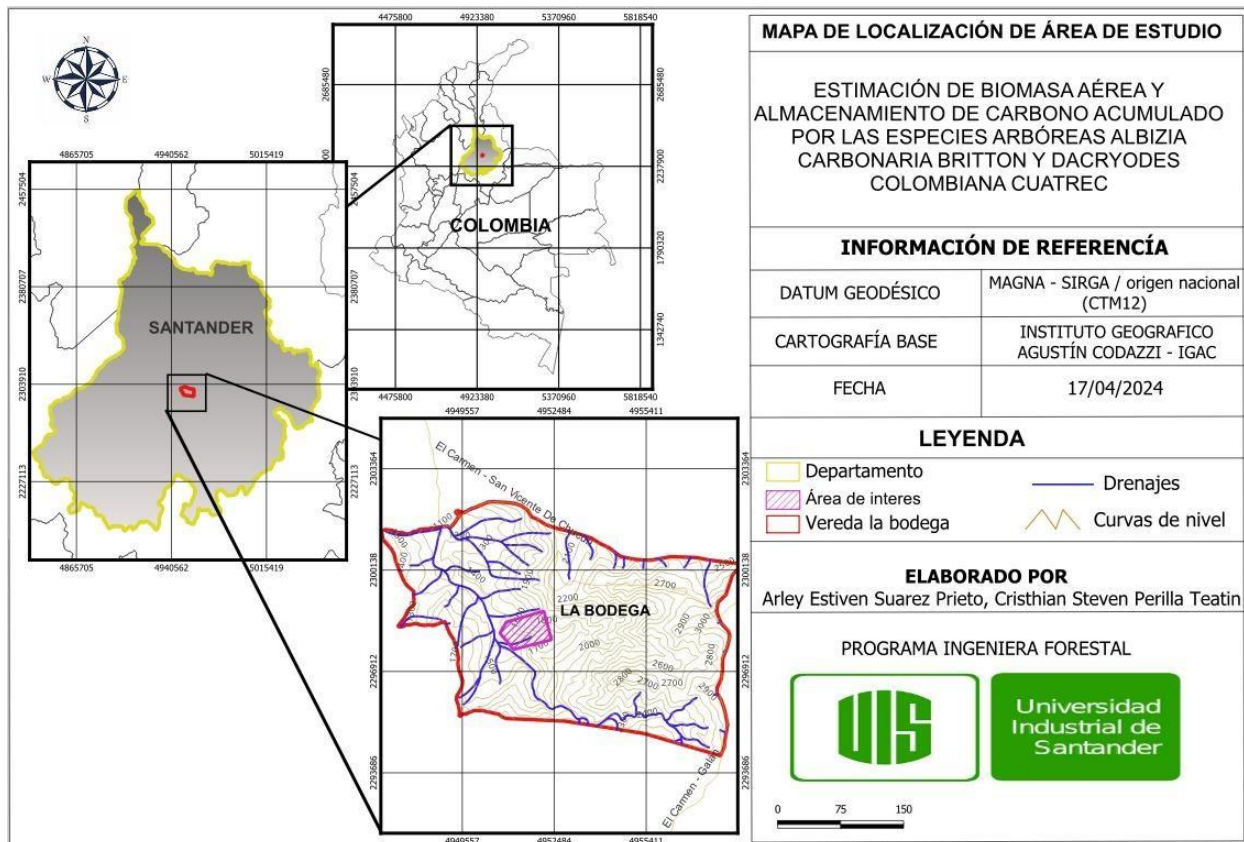
### **3. Metodología**

#### **3.1 Área de estudio**

El proyecto se realizó en el municipio de El Carmen de Chucurí, Santander, en los predios pertenecientes a la asociación agroforestal de Chucurí (ASAFCH), donde se realiza actualmente el aprovechamiento forestal persistente. El predio donde se ejecutó el estudio fue en la vereda La Bodega (Figura 1), la cual se encuentra a una altitud entre los 1400 y 1645 m s. n. m., con una precipitación anual de 2500 mm y unas condiciones climáticas de temperatura promedio de 26 °C lo cual permitió clasificar el sitio en la zona de vida de bh- PM.

**Figura 1**

Ubicación área de estudio.



### 3.2 Toma de datos en campo

Los trabajos en campo fueron realizados en tres tiempos o etapas con cuatro días cada una, durante los meses de septiembre, diciembre de 2023 y febrero 2024; según la programación y disponibilidad del personal en la zona. Los individuos fueron georreferenciados en unidades de coordenadas geográficas; la altitud se registró en m s.n.m. empleando el *GPS Garmin 64x*. Por otra parte, la variable DAP (cm), se midió a 1,30 m, con cinta diamétrica, la altura total (Ht) y la altura comercial (Hc) se registraron con la ayuda de un hipsómetro digital *Nikon Forestry Pro*. Respecto al diámetro de copa se tomaron cuatro diámetros (m) con uso de lienza y decámetro, los cuales fueron posteriormente promediados.

### **3.3 Método destructivo**

Se utilizó el protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbono en Colombia realizado por el Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM, 2011).

#### ***3.3.1 Apeo***

La actividad de tala o apeo se realizó previa a la autorización ambiental o permiso de aprovechamiento forestal persistente, otorgado por la Corporación Autónoma Regional de Santander (CAS) mediante la resolución DGL No. 000289 de 08 de mayo de 2023 y convenio ASFCH – UIS de 2023. Fueron derribados seis individuos de cada especie. Luego de apea los individuos se seccionó el fuste en trozas de 3 m.

#### ***3.3.2 Peso fresco***

Se utilizó una pesa manual colgante con capacidad de 250 kg para registrar el peso fresco de los diferentes componentes del árbol separándoles, es decir, fuste, hojas, ramas mayores a 10 cm y ramas menores a 10 cm en diámetro.

### **3.4 Recolección de muestras**

Se emplearon bolsas ziploc, bolsas de papel manila y costales para recolectar y transportar los diferentes componentes del árbol, como ramas, hojas. Estos recipientes deben ser duraderos, resistentes a la humedad y de tamaño suficiente para contener las muestras sin dañarlas.

#### ***3.4.1 Hojas***

Se pesaron 1000 g de muestra correspondiente a hojas por cada individuo arbóreo de interés. El equipo de pesaje fue una gramera digital el cual tuvo una precisión de mg y se utilizó bolsas en papel en material papel Kraft.

### **3.4.2 Ramas menores y mayores**

Considerando las ramas menores a 10 cm de diámetro y ramas mayores a 10 cm, se utilizó un calibrador vernier para medir el diámetro de las ramas de los árboles seleccionados, para obtener mediciones de mayor precisión, posteriormente se hizo la recolección de 1000 g de muestra seleccionando las ramas adecuadas.

### **3.4.3 Fuste**

Luego haber realizado el apeo con una motosierra STIHL MS 661, se sacó una rodaja de la base del árbol del fuste de cada individuo, se le halló el volumen al fuste y a la rodaja mediante la fórmula de Newton y su peso respectivo.

$$V = \left( \frac{S_0 + S_1 + 4 \cdot S_{1/2}}{6} \right) \cdot L$$

## **3.5 Laboratorio**

### **3.5.1 Secado de muestras**

Las muestras colectadas se llevaron al laboratorio de química de la sede UIS Málaga, donde fueron ingresadas a un horno, durante 48 h a una temperatura constante de 105 °C, siguiendo el protocolo propuesto en la NTC 206 (ISO 3130), el registro de pesos se efectuó cada seis horas, empleando una balanza de precisión en la estimación del peso seco en las diferentes partes de la planta, como ramas y hojas.

### 3.5.2 *Densidad de la madera*

Para determinar la densidad básica se utilizaron probetas con trozos de madera verde con dimensiones de 5x5x10 cm de acuerdo con la Norma COPANT 458, libres de defectos y medula, para ser llevadas al horno a una temperatura de 105°C.

$$DB = \frac{MA}{VV}$$

Donde:

DB = Densidad básica (g/cm<sup>3</sup>)

MA = masa anhidra (g)

VV = volumen verde (m<sup>3</sup>)

## 3.6 **Análisis de datos**

### 3.6.1 *Biomasa aérea*

Para la estimación de biomasa aérea se aplicó la siguiente fórmula.

$$Ba = (Pf - (Pf * CH\%))100$$

Donde:

Ba = Biomasa aérea (kg)

Pf = Peso fresco (kg)

CH % = Contenido de humedad en porcentaje

También se empleó un modelo alométrico teórico para bosques bh-PM con el fin de observar las diferencias entre métodos de cuantificación de la biomasa aérea (Lozano et al; 2018).

$$B = 0,00088(\text{DAP})^2 - 0,03(\text{DAP}) + 0,04(\text{ht}) - 0,08$$

### **3.6.2 Contenido de carbono**

El contenido de carbono (C) corresponde al 50% de la biomasa forestal aérea propuesta por el IPCC (2006).

### **3.6.3 Modelo alométrico**

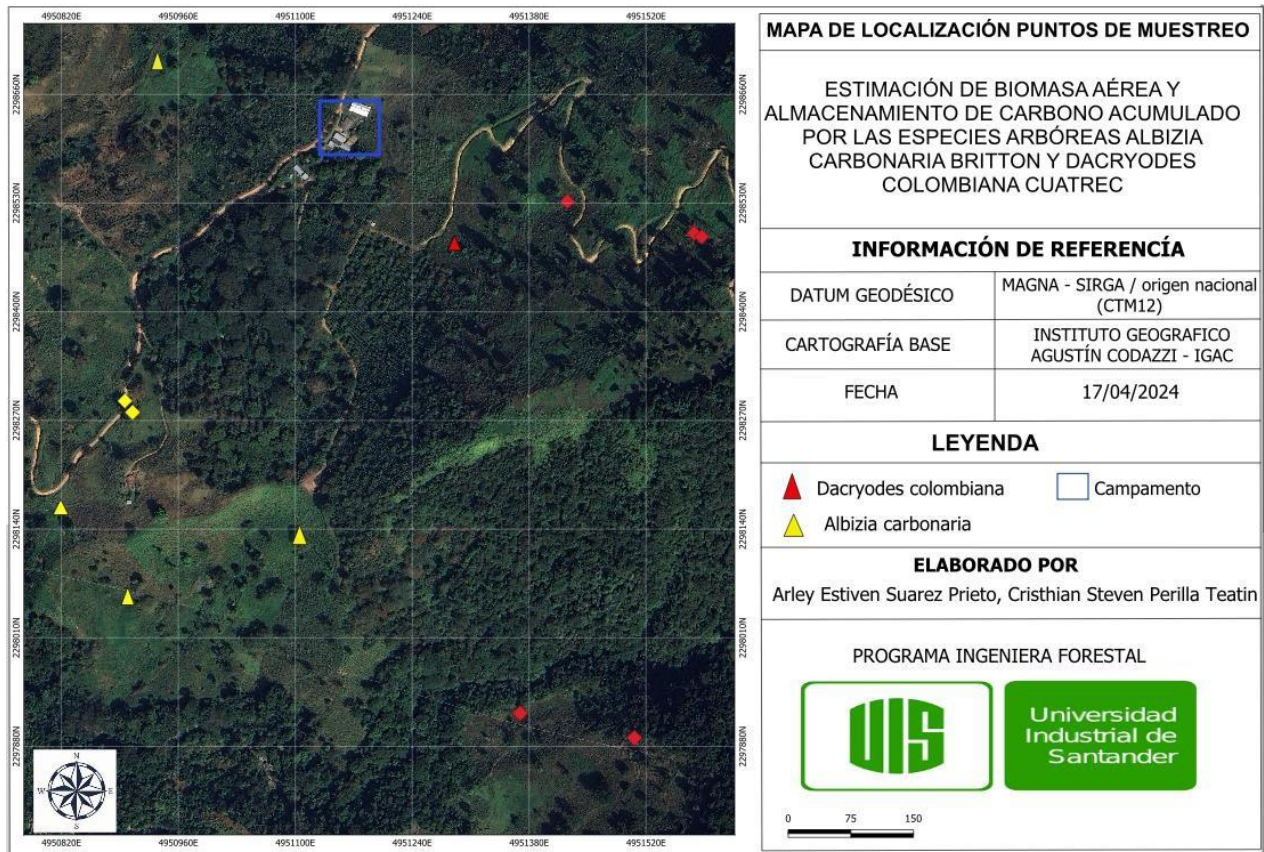
Para generar el modelo alométrico se procesaron los datos en el *software* libre *R* y *IBM SPSS Statistics 21*, donde se hallaron datos estadísticos descriptivos como la media, desviación estándar, coeficiente de variación y correlación de Pearson. Para así determinar que variable tiene mayor correlación con la biomasa, teniendo en cuenta que las variables independientes son (DAP, Ht, g) y dependientes la misma biomasa y el volumen. Por otra parte, se desarrollaron modelos de regresión lineal múltiple con el fin de generar un modelo alométrico, el cual se evaluó teniendo en cuenta el coeficiente de determinación  $R^2$ .

## **4. Resultados**

Se realizó, la georreferenciación de cada uno de los individuos apeados para este caso fueron seis árboles de *A. carbonaria* y seis de *D. colombiana* (12 árboles en total) (Figura 2).

**Figura 2**

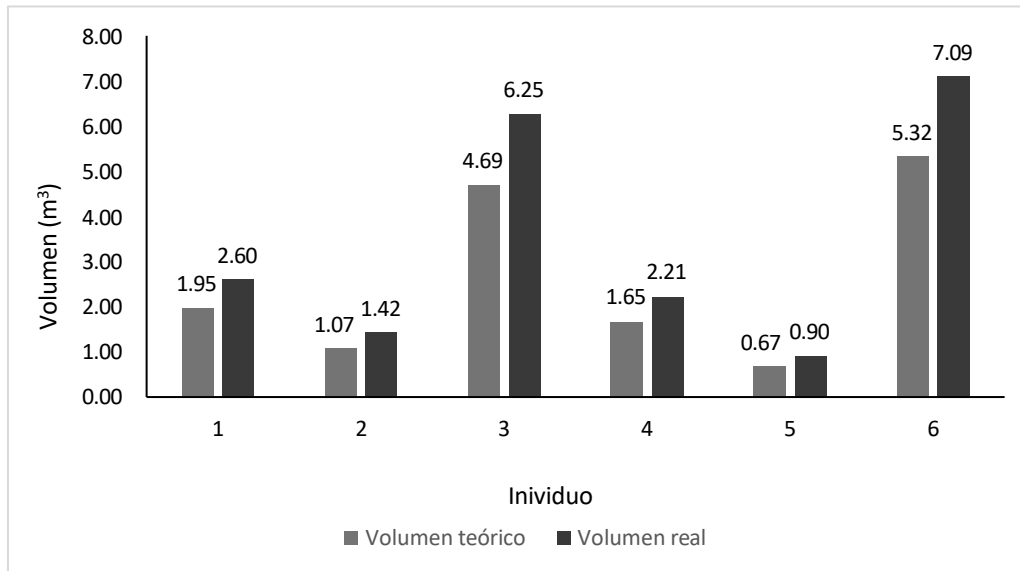
*Localización individuos apeados.*



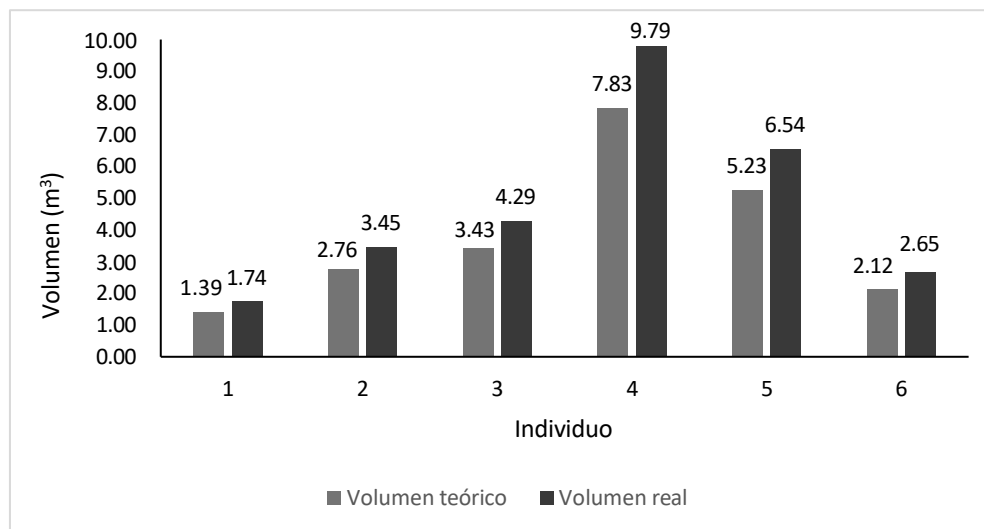
Se calculó el volumen teórico y real para cada una de las especies representadas por seis individuos arbóreos de *A. carbonaria* y *D. colombiana* (Figuras 3 y 4), además, se halló el coeficiente mórfico de Hohendahl donde se obtuvieron resultados de 0,5 para Galapo y 0,8 para Anime; a partir de esto se generó un volumen real de cada individuo. Por otra parte, se obtuvo un promedio de volumen teórico para anime de 2,56 m<sup>3</sup> y 3,79 m<sup>3</sup> para Galapo.

**Figura 3**

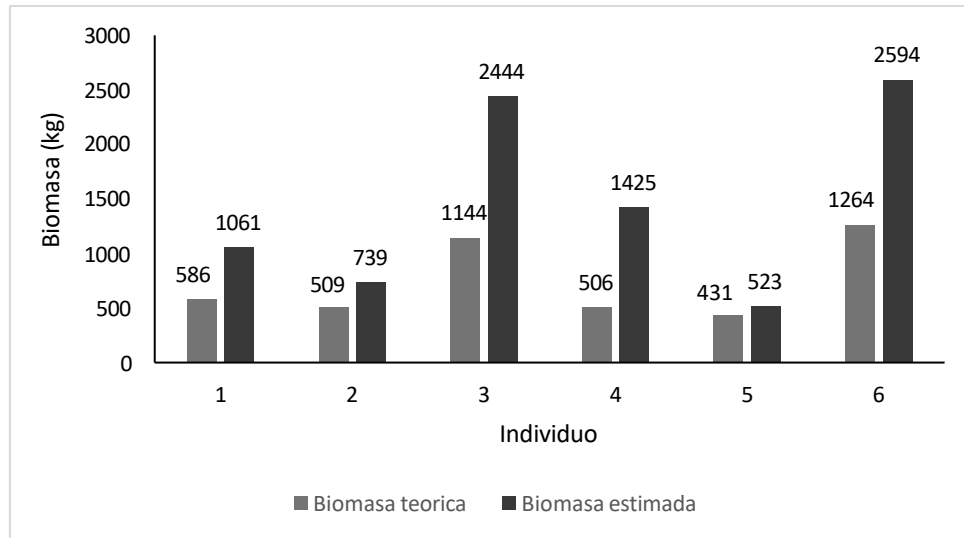
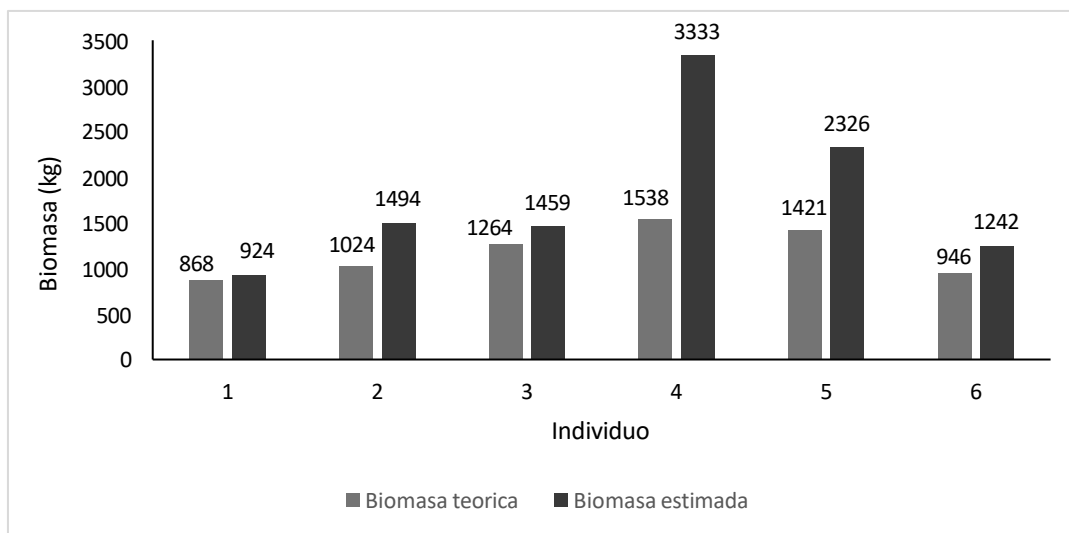
*Estimación de los volúmenes teóricos y reales de la especie arbórea Anime (D. colombiana)*

**Figura 4**

*Volumen teórico y real del Galapo.*



Se logran observar las diferencias que existen entre las metodologías establecidas para la cuantificación de biomasa aérea, expresando una mayor precisión el método directo o destructivo (figura 5 y 6).

**Figura 5***Biomasa aérea Dacryodes colombiana.***Figura 6***Biomasa aérea Albizia carbonaria.*

Se estimó la biomasa aérea de cada componente del árbol, es decir, fuste, ramas menores, ramas mayores y hojas (Tabla 1 y 2). La especie *A. carbonaria* fue la que obtuvo una mayor

biomasa aérea con un total de 10.778 kg para los seis individuos apeados, esto con relación al patrón de rápido crecimiento que posee la especie arbórea.

**Tabla 1**

*Biomasa por componente del Anime.*

<b>Biomasa</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>DAP (cm)</b>	49,3	38,8	56,6	48,3	33,1	57,6
Fuste	544	239	1280	716	159	1374
Ramas menores	186	194	421	163	93	428
Ramas mayores	275	238	615	456	221	642
Hojas	56	68	127	89	50	149
<b>Σ (kg)</b>	<b>1061</b>	<b>739</b>	<b>2444</b>	<b>1425</b>	<b>523</b>	<b>2594</b>

**Tabla 2**

*Biomasa por componente del Galapo.*

<b>Biomasa</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>DAP (cm)</b>	42,9	56,1	56,6	77,9	66,2	50,9
Fuste	432	734	693	2401	1505	709
Ramas menores	163	134	109	138	124	173
Ramas mayores	279	562	597	733	632	305
Hojas	51	64	59	60	65	55
<b>Σ (kg)</b>	<b>924</b>	<b>1494</b>	<b>1459</b>	<b>3333</b>	<b>2326</b>	<b>1242</b>

Para poder estimar la biomasa total de los 12 individuos es necesario conocer el peso seco de los árboles apeados, por lo que se hizo la recolección de 1 kg muestras de cada componente del árbol, las que fueron llevadas a laboratorio con el fin de realizarles un proceso de secado y así mismo poder hallar el porcentaje de pérdida de peso (Tabla 3).

**Tabla 3**

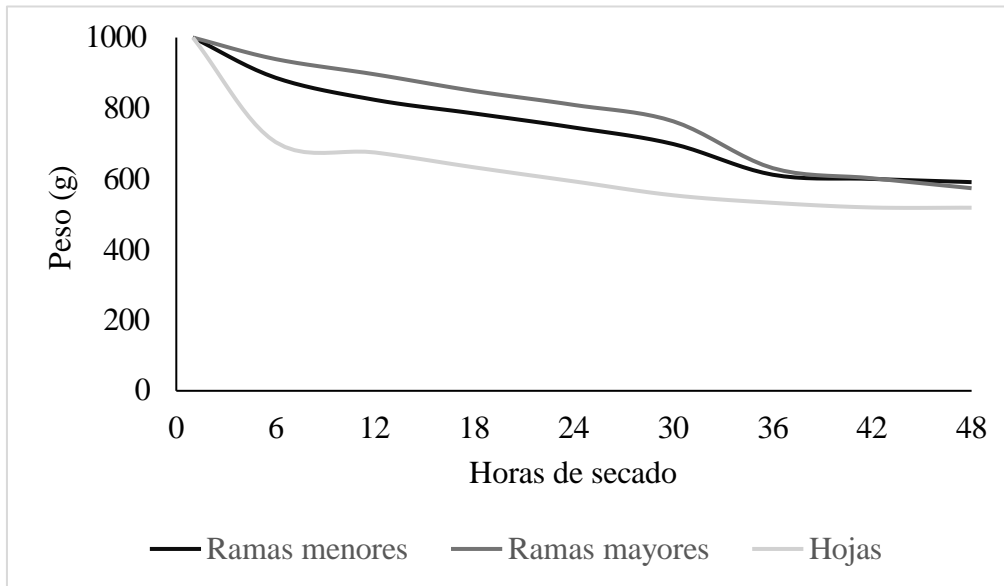
*Porcentajes de pérdida de peso.*

<b>Especie</b>	<b>Ramas menores</b>	<b>Ramas mayores</b>	<b>Hojas</b>
Anime	43%	51%	48%
Galapo	42%	52%	54%

Para observar el cambio en el contenido de humedad de las especies *A. carbonaria* y *D. colombiana*, con un proceso de secado a una temperatura constante de 120°C. Inicialmente, la humedad disminuye rápidamente, indicando un proceso de secado rápido. Después de aproximadamente 36 h, la tasa de reducción de la humedad se estabiliza, mostrando un comportamiento más gradual. Finalmente, después de 48 h, la muestra alcanza un nivel indicando que ha alcanzado un punto de secado deseado (Figura 7 y 8).

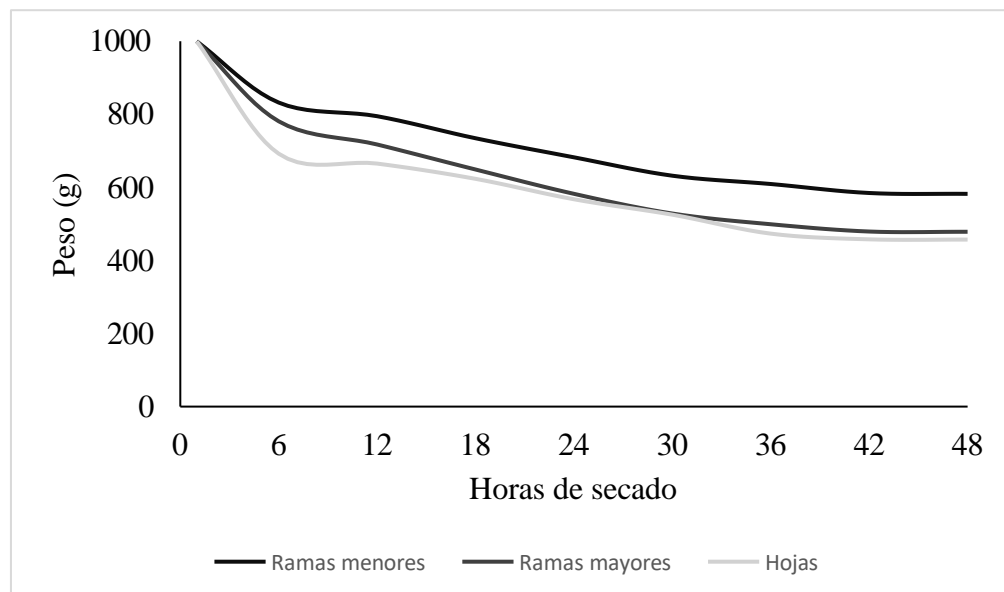
**Figura 7**

*Secado muestras del Anime.*



**Figura 8**

*Secado muestras del Galapo.*



Para la construcción del modelo alométrico de biomasa aérea se tuvo en cuenta la el grado de correlación existente entre las diferentes variables independientes que influyen con respecto a la variable dependiente siendo esta la biomasa total. Realizada la correlación de Pearson se obtuvieron los siguientes datos (Tabla 4).

**Tabla 4***Correlación de Pearson*

	Anime	Galapo
	Biomasa	
DAP	0,93	0,98
H	0,95	0,91
Vt	0,97	0,99
Vc	0,98	0,99

Se seleccionaron los modelos alométricos que tuvieron mayor significancia, para este caso se evaluaron teniendo en cuenta el coeficiente de determinación ajustado  $R^2$  donde se obtuvo el valor de 0,93 para el modelo alométrico de *D. colombiana* y 0,94 para el modelo alométrico de la especie *A. carbonaria*, a continuación, se muestran los dos modelos alométricos propuestos para cada especie, donde se tuvieron en cuenta las variables de altura (H), DAP y densidad ( $\rho$ ) (Tabla 5).

**Tabla 5.***Modelos alométricos*

Especie	Modelo alométrico
<i>Dacryodes colombiana</i>	$B=0,0713x(H\rho DAP^2)^{0,958}$
<i>Albizia carbonaria</i>	$B=0,0698x(H\rho DAP^2)^{0,926}$

Finalmente, para dar respuestas a las preguntas planteadas se logra observar que después de aplicar el método destructivo la especie *A. carbonaria* fue la que obtuvo mayor cantidad de biomasa aérea, esto con relación a las clases diamétricas y al gremio ecológico al que pertenece. Por otra parte se resalta que el modelo alométrico generado para las dos especies tienen una mayor precisión que los modelos alométricos generados por zona de vida (Tabla 6).

**Tabla 6.**

*Datos estadísticos*

	Especie	Mínimo	Máximo	Suma	Media		Desviación estándar
					Estadística	Error estándar	
<b>Biomasa estimada</b>	<i>Dacryodes colombiana</i>	523,4	2593,5	8786	1464,2	356,3	872,8
	<i>Albizia carbonaria</i>	924,2	3332,3	10778	1796,3	361,2	884,7
<b>Modelo alométrico</b>	<i>Dacryodes colombiana</i>	416,6	3026,1	8920	1486,7	447,3	1095,7
	<i>Albizia carbonaria</i>	737,6	3652,1	11081	1846,9	437,4	1071,4

## 5. Discusión

Un estudio realizado por Álvarez (2008) determina que la estimación de la biomasa y la captura de carbono en especies vegetales son variables difíciles de medir, por lo que es primordial utilizar modelos matemáticos para calcularlas sin necesidad de talar los árboles. Los cálculos se basan en las correlaciones que pueden existir entre variables de fácil medición en campo, como la altura, área basal y diámetro a la altura del pecho. En ocasiones, los modelos alométricos están limitados a factores ambientales o genéticos que influyen en el crecimiento y comportamiento de los individuos arbóreos, por tanto, es fundamental crear modelos por zona de vida que se apliquen en condiciones similares a las del estudio.

Villar et al. (2008) en su estudio afirman que el desarrollo morfológico de la planta determina la producción de biomasa. Además, indican que la biomasa foliar en el estado de plántula representa el 40% del peso total, mientras que, en árboles y arbustos adultos, la mayor parte de la biomasa está en troncos y ramas, lo que se asemeja a los resultados obtenidos en esta investigación donde se encontró que el fuste y las ramas proporcionan aproximadamente el 92% de la biomasa aérea total, ya que eran individuos que superaban los 8 años de edad.

Según Kim et al. (2017) el almacenamiento de carbono puede aumentar mientras el árbol está en su fase de crecimiento del árbol y disminuir después del envejecimiento, cosecha o quema. Asimismo, De Carvalho et al. (2016) afirma que la captura de carbono varía según la especie, el manejo silvicultural de los individuos, la edad, condiciones climáticas, el estado fitosanitario. Para el estudio realizado se pudo comprobar que *A. carbonaria* tiene una mayor capacidad de acumular

carbono, teniendo en cuenta que eran árboles más jóvenes con respecto a los individuos de *D. colombiana*.

Respecto a la correlación entre variables, Sunum (2023) identificó correlaciones altamente positivas entre la Biomasa-DAP, siendo 0,95, por otro parte, las correlaciones entre Biomasa-Altura fueron moderadamente positivas con un valor de 0,75. Basado en el estudio que se realizó, también se obtuvieron correlaciones de Pearson semejantes entre las variables DAP-Biomasa, sin embargo, se observan diferencias para la correlación Altura-Biomasa, puesto que los valores encontrados fueron 0,95 para anime y 0,91 en el galapo.

Los modelos alométricos seleccionados en este estudio presentan un ajuste moderado con respecto al coeficiente de determinación  $R^2$ , donde se obtuvo un valor para el anime de 0,93 y el 0,94 para el galapo. Estos valores hallados son similares a los resultados obtenidos por Ramírez et al. (2017), donde obtuvo un valor de  $R^2$  de 0,96 de la ecuación alométrica de biomasa, para un total de 18 especies arbóreas en un ecosistema determinado como selva mediana caducifolia del estado de Yucatán en el país de México.

El porcentaje de carbono acumulado y obtenido a partir del peso seco de los componentes de los árboles, se aproximó a un 49% para *Albizia carbonaria* y un 47 % en la especie *Dacryodes colombiana*. Según Becker et al. (2012) en otras especies del Este de África, afirma que existe una variación en la concentración de carbono del 47,5 % al 50 %, esto para 23 especies del trópico. Por otra parte, los modelos alométricos generados para las especies de estas zonas de vida pueden tener una similitud al momento de realizar cálculos de biomasa.

## 6. Conclusiones

La biomasa total encontrada en los 12 individuos de las especies *Albizia carbonaria* y *Dacryodes colombiana* fue de 19,5 ton equivalentes a 9,75 ton de Carbono, siendo el Galapo la especie forestal que mayor cantidad de biomasa albergo, se infiere que esto está relacionado al rápido crecimiento que posee la especie; por otra parte, se logra observar el potencial que tiene estas dos especies en la zona para capturar y almacenar carbono.

El componente que acumula una mayor cantidad de carbono es el fuste con un promedio del 60% del total de la biomasa aérea, seguido de las ramas menores y mayores con un porcentaje de 32%. Por otra parte, las hojas tienen un menor aporte al momento de capturar carbono, sin embargo, es el órgano vegetativo encargado de la síntesis de sustancias orgánicas a partir de la captura de CO<sub>2</sub>.

Se lograron ajustar dos modelos alométricos para cada una de las especies arbóreas, los cuales permiten estimar la biomasa aérea en función de las variables que mas influyen y mayor correlación tienen al momento de hacer cálculos de almacenamiento de carbono, sin embargo, no deja de existir un sesgo o un error en este tipo de ecuaciones, donde el numero de individuos empleados es un factor primordial y principal al momento de ajustar o perfeccionar los modelos alométricos.

## 7. Recomendaciones

Investigar a fondo sobre las diferentes asociaciones con fauna que posean las especies arbóreas elegidas para proyectos de estimación de biomasa por método destructivo, con el fin de no generar afectación a las interacciones ecológicas que existan en el ecosistema, por otra parte, esto permite que se logren ejecutar de manera adecuada las actividades de campo propuestas para la respectiva toma de datos.

Realizar estudios de cuantificación de biomasa total arbórea donde se logre incluir la biomasa aérea y la biomasa de raíz, ya que hay una biomasa proporcional a la que existe en el fuste, ramas y hojas, incluso en algunos estudios mencionan que la biomasa de raíz puede ser superior a la biomasa aérea la cual puede ser significativa y relevante para llevar a cabo proyectos de incentivos por bonos de carbono.

Implementar prácticas de manejo sostenible si se planea utilizar las especies con fines comerciales, garantizando así la conservación a largo plazo de las especies y su hábitat. Esto puede incluir técnicas de silvicultura como la tala selectiva mediante la determinación de diámetros mínima de corta, la implementación de podas fitosanitarias y a su vez asegurar que exista una regeneración natural o asistida de las especies en la zona.

Desarrollar estudios que sean factibles para evaluar el potencial de captura de carbono, los costos y los beneficios, teniendo en cuenta que existen una serie de programas gubernamentales y privados que pueden proporcionar financiamiento para proyectos de bonos de carbono. Teniendo en cuenta, que el potencial de captura de CO<sub>2</sub> de las especies forestales presentes en la zona pueden ayudar a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y combatir el cambio climático.

### Referencias bibliográficas

- Agudelo-López, M., González-Vargas, C., Yepes-Quintero, A., Mora-Rodríguez, E., Chaux-Echeverri, M., Santos-Acuña, L., & Fernández-Ugalde, J. C. (2022). Costos de aprovechamiento del manejo forestal comunitario en Colombia: impactos, lecciones aprendidas y desafíos. *Colombia forestal*, 25(2), 104-119.
- Aldaz, J. C. (2020). *Adaptabilidad en el sistema de producción agrícola: Una mirada desde los productos alternativos sostenibles*. *Revista de Ciencias Sociales (Ve)*, 26(4), 308-327.
- Arias, Á. M. A. (2020). *Régimen jurídico-ambiental de los recursos forestales en Colombia*. Universidad Externado.
- Álvarez, G. (2008). *Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del trópico de Cochabamba, Bolivia*. (Tesis de maestría). CATIE, Turrialba, Costa Rica.  
[http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/4357/Modelos\\_alometricos\\_para\\_la\\_estimacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/4357/Modelos_alometricos_para_la_estimacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- Arone Quispe, O. (2019). *Modelo alométrico y la estimación de captura de carbono de las especies Eucalyptus globulus y Pinus radiata, y su valoración económica, en la zona sur de Ayacucho-Perú, 2018*.
- Avilés, G. (2017). *Análisis filogenético de las especies americanas de Albizia* (Doctoral dissertation, Tesis para título de Maestro en Ciencias). Ciencias Biológicas: Opción Recursos Naturales. Centro de investigación científica Yucatán. Yucatán, México).

- Becker, G. S., Braun, D., Gliniars, R., & Dalitz, H. (2012). Relations between wood variables and how they relate to tree size variables of tropical African tree species. *Trees*, 26(4), 1101-1112. <https://doi.org/10.1007/s00468-012-0687-6>
- Bernachea Jesus, N. (2019). *Valoración económica y secuestro de CO2 en bosques plantados de eucalipto (Eucalyptus globulus labil) y pino (Pinus radiata) de 11 años de edad en Cochatemala, distrito Huacar, provincia Ambo departamento Huánuco–Setiembre, 2018–Febrero, 2019.*
- Bernal, R., G. Galeano, A. Rodríguez, H. Sarmiento y M. Gutiérrez. 2012. Nombres Comunes de las Plantas de Colombia.
- Casas, A. T.-L.-L.-G. (2017). *Ciencia para la sustentabilidad: investigación, educación y procesos participativos*. *Revista mexicana de biodiversidad*, 88, 113-128.
- Criollo Escobar, H., Muñoz Belalcázar, J., & Lagos Burbano, T. C. (2020). *Modelos alométricos para biomasa y carbono de Albizia*. *Ciencia y Agricultura*, vol. 17, núm. 3, 2020, Septiembre-. <https://doi.org/https://doi.org/10.19053/01228420.v17.n3.2020.11384>.
- De Carvalho, L., Cardoso, M., De Sá Mendonça, E., Fernández, A., López S. & Oliveira, S. (2016). Trees Modify the Dynamics of Soil CO2 Efflux in Coffee Agroforestry Systems. *Rev, Agricultural and Forest Meteorology*, 224(1), 30-39. [https://doi.org/10.1016/j.agrformet, 2016, 05,001.](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.05.001)
- Favero, A., Daigneault, A., & Sohngen, B. (2020). Forests: Carbon sequestration, biomass energy, or both?. *Science advances*, 6(13), eaay6792.
- Gargaglione, V. P. (2010). *Allometric Relations for Biomass Partitioning of Nothofagus*. *Forest Ecol. Manag*, 259(6), 1118-.

- Kim, D. T. (2017). *Greenhouse Gas Emissions from Natural Ecosystems and Agricultural Lands in Sub-Saharan Africa: Synthesis of Available Data and Suggestions for Further Research*. *Biogeosciences*, 13, 4789-4809.
- Lozano Sivilsaca, D. C., Palacios Herrera, B. G., & Aguirre Mendoza, Z. H. (2018). Modelos alométricos para estimar el almacenamiento de carbono de bosques montanos bajos en el sur del Ecuador. *Ciencia florestal*, 28, 1328-1339.
- Merchán, J. (2019). almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de yaracuy, venezuela como activo para el desarrollo.
- Mírez Rubio, Y. (2021). Estimación de biomasa y contenido de carbono en *Pinus patula* de diferentes edades en la jalca del distrito de Chalamarca, Chota-Cajamarca.
- Muñoz, P. G., Gómez, M. G., & García, A. T (2019). Efectos potenciales del calentamiento global sobre el bienestar y el crecimiento económico en Colombia.
- Pati, P. K., Kaushik, P., Khan, M. L., & Khare, P. K. (2022). Allometric equations for biomass and carbon stock estimation of small diameter woody species from tropical dry deciduous forests: Support to REDD+. *Trees, Forests and People*, 9, 100289.
- Quintero Mora, J. D. (2021). Mercado de bonos de carbono en Colombia, balance y prospectiva.
- Ramírez Ramírez, G., Dupuy Rada, J. M., Ramírez y Avilés, L., & Solorio Sánchez, F. J. (2017). Evaluación de ecuaciones alométricas de biomasa epigea en una selva mediana subcaducifolia de Yucatán. *Madera y bosques*, 23(2), 163-179.

- Rodríguez, A. C. T., Binda, E., Quintero, J. M. O., Garcia, H., Gómez, B., Soto, C., ... & Clerici, N. (2020). Answering the right questions. Addressing biodiversity conservation in post-conflict Colombia. *Environmental Science & Policy*, *104*, 82-87.
- Ruiz Carrera, C. A. (2018). *Estimación de carbono en tres depósitos naturales del ecosistema herbazal de páramo en la microcuenca Cachipata, comunidad Llucud, cantón Chambo*. (Bachelor's thesis, Universidad Nacional de Chimborazo, 2018).
- Skytt, T., Nielsen, S. N., & Jonsson, B. G. (2020). Global warming potential and absolute global temperature change potential from carbon dioxide and methane fluxes as indicators of regional sustainability—A case study of Jämtland, Sweden. *Ecological Indicators*, *110*, 105831.
- Solano, D. (2014). *Generación de modelos alométricos para determinar biomasa aérea a nivel de especies, mediante el método destructivo de baja intensidad para el estrato de bosque seco pluvial estacional*. Revista Cedemaz.
- Sunum Orellana, R. D. (2023). *evaluación de modelos alométricos para estimar el carbono fijado en la biomasa de bosques naturales en la república de Guatemala* (Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala).
- Wirabuana, P., Setiahad, R., Sadono, R., Lukito, M., Martono, D. S., & Matatula, J. (2020). Allometric equations for estimating biomass of community forest tree species in Madiun, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, *21*(9).
- Thompson, R. A., Landhäusser, S. M., & Adams, H. D. (2023). Dynamical systems for plant carbon storage: describing complex reserve dynamics from simple fluctuations in photosynthesis and carbon allocation. *Tree Physiology*, tpad104.

Villar, R., Ruiz, J., Quero, J., Poorter, H., Valladares, F. & Marañón, T. (2008). Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas.

Villamil Sabogal, K. G. (2021). *contribución de los sistemas productivos ganaderos con enfoque de sostenibilidad en la captura de carbono en colombia.*



Apéndice C. Colección de información





