

**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA**  
**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**PROYECTO PREVIO LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA  
AMBIENTAL**

**ESTIMACIÓN DE CARBONO EN PLANTACIONES DE *Cedrelinga  
catenaeformis* D. Duke, *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken y *Tabebuia  
donnell-smithii* Rose EN LA HACIENDA LOS LAURELES, CANTÓN  
ARCHIDONA**

**AUTORAS**

GREFA GREFA INDIRA KASANDRA  
LICUY AGUINDA EUFEMIA GARDENIA

**DIRECTOR DE PROYECTO**

Dr. MARLON OSWALDO NÚÑEZ CASTRO

**PUYO – PASTAZA – ECUADOR**

**PERIODO 2019 – 2020**

### **Declaración de auditoria y cesión de derechos**

Grefa Grefa Indira Kasandra y A Licuy Aguinda Eufemia Gardenia, egresadas de la Universidad Estatal Amazónica carrera de Ingeniería Ambiental libre y voluntariamente declaramos que los contenidos y resultados de la presente investigación titulada "Estimación de carbono en plantaciones de *Cedrelinga catenaeformis* D. Duke, *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken y *Tabebuia donnell-smithii* Rose EN LA HACIENDA LOS LAURELES, CANTÓN ARCHIDONA" son auténticos y de exclusiva responsabilidad.

Y autorizamos a la Universidad Estatal Amazónica hacer uso, con fines docentes e investigaciones de los resultados obtenidos de la misma.

Indira Kasandra Grefa Grefa  
C.I: 150091373-4

Eufemia Gardenia Licuy Aguinda  
C.I:150107494-0

**Certificado de culminación del proyecto de investigación.**

En mi calidad de Director del proyecto de investigación denominado: **“Estimación de carbono en plantaciones de *Cedrelinga catenaeformis* D. Duke, *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken y *Tabebuia donnell-smithii* Rose EN LA HACIENDA LOS LAURELES, CANTÓN ARCHIDONA”** de las autoras: Grefa Grefa Indira Kasandra y Licuy Aguinda Eufemia Gardenia, egresadas de la carrera de Ingeniería Ambiental, considero que reúnen los requisitos y méritos suficientes para ser sometidos a la evaluación del jurado examinador designado por el consejo directivo.



MSc. Marlon Nuñez

Director del Proyecto



**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA**  
SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND



Oficio No. 182-SAU-UEA-2020

Puyo, 4 de febrero de 2020

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El Proyecto de Investigación correspondiente a las egresadas GREFA GREFA INDIRA KASANDRA con C.I. 1500913734; y LICUY AGUINDA EUFEMIA GARDENIA con C.I. 1501074940 con el Tema: **"ESTIMACIÓN DE CARBONO EN PLANTACIONES DE *Cedrelinga catenaeformis* D. Duke, *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken y *Tabebuia donnell-smithii* Rose EN LA HACIENDA LOS LAURELES, CANTÓN ARCHIDONA"**, de la carrera, Ingeniería Ambiental. Director del proyecto. Dr. Núñez Castro Marlon, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 5%, Informe generado con fecha 4 de febrero de 2020 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Ing. Italo Marcelo Lara Pilco MSc.  
**ADMINISTRADOR DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND – UEA - .**

### CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El presente proyecto de investigación titulado: "Estimación de carbono en plantaciones de *Cedrelinga catenaeformis* D. Duke, *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken y *Tabebuia donnell-smithii* Rose en la hacienda los Laureles, cantón Archidona", bajo la responsabilidad de Grefa Grefa Indira Kasandra y Licuy Aguinda Eufemia Gardenia, fue aprobado por los siguientes miembros del tribunal:

#### MIEMBROS DEL TRIBUNAL



Dr. Yudel García Ph.D



MSc. Ivonne Jalea



MSc. Wilmer Balarezo

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a todas las personas que hicieron posible con la culminación de este proyecto de investigación.

A Dios por cuidarme y darme fuerzas en los momentos más difíciles a lo largo de mi vida estudiantil y darme la voluntad y fortaleza que he necesitado.

A mis padres, quienes han guiado mi camino y son mi apoyo fundamental y especialmente a mi madre, Blanca Grefa, la mujer que ha sido un pilar fundamental en mi vida.

A mis tíos y abuelos que han aportado con sus consejos para ser una mujer de bien.

A nuestro tutor Dr. Marlon Núñez por compartir sus conocimientos y por el tiempo brindado al desarrollo de este trabajo de investigación.

A la Universidad Estatal Amazónica por permitirme formar parte de esta prestigiosa institución y de esta manera culminar mi carrera profesional.

**Indira Kasandra Grefa Grefa**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación lo quiero dedicar principalmente a todas las personas que hicieron la posible culminación de este proyecto.

A Dios por ser el inspirador, el que me conduce a lo largo de mi existencia en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

A mis padres: Antonio Grefa y Blanca Grefa, por ser los principales promotores a lo largo de mis estudios y quienes me han acompañado durante todo mi trayecto de vida y estudiantil y en especial a mi madre por su apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones y siempre demostrándome su cariño, y por cuidar de mi hija en cada momento y así poder lograr mi meta.

A mis tíos y abuelos por sus consejos, cariño y por sus palabras de aliento hacia mí y así seguir adelante para ser una mejor persona.

**Indira Kasandra Grefa Grefa**

## **AGRADECIMIENTO**

En este espacio quiero agradecer a la Universidad Estatal Amazónica, a toda esa gama de profesionales que conforman el departamento de Ciencias de la Vida y la Escuela de Ingeniería Ambiental y por abrirme las puertas para consolidar mis metas a lo largo de esta carrera.

A mis docentes quienes con sus consejos y enseñanzas hicieron crecer día a día como persona y como profesional, gracias a cada uno de ustedes por esa paciencia, esa amistad y el conocimiento compartido. De igual manera, agradecerle a mi tutor Dr. Marlon Núñez quién supo guiarme y tenerme paciencia, a la MSc. Ivonne Jalca quién me brindó su apoyo, guío y tuvo paciencia durante el tiempo del proyecto de titulación.

Asimismo, quiero agradecer a Dios por sus bendiciones derramadas hacia mí, a mis padres, hermanos y hermanas por ese apoyo incansable durante mi carrera universitaria.

A mis amigos y amigas por brindarme esa verdadera amistad y tener la dicha de conocer y compartir experiencias únicas que atrae la Universidad Estatal Amazónica.

**Eufemia Licuy**



## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación dedico especialmente a Dios por darme la vida, iluminar mi camino, ser mi guía y darme las fuerzas necesarias para poder continuar en este proceso académico para obtener uno de mis anhelos deseado.

A mis padres Guillermo Licuy y Alicia Aguinda, a mis hermanos y hermanas por creer en mí, estar siempre conmigo y brindarme ese apoyo de forma incondicional. Gracias a ese sacrificio, al trabajo y la decisión veraz hacia mí, he llegado hasta aquí, a convertirme en lo que ahora soy.

A mi precioso amado hijo Alex Santiago por ser el motivo y la fuente de inspiración y dedicación en el quehacer universitario; a las personas que me brindaron sus manos de apoyo, abrieron las puertas y compartieron sus sacrificios y conocimientos para que este trabajo se realice con éxito y se haga realidad.

A todos ellos, les dedico con el más infinito amor.

**Eufemia Licuy**

## RESUMEN

El objetivo del trabajo fue determinar la cantidad de carbono almacenado y secuestrado en plantaciones de *Cedrelinga catenaeformis*, *Cordia alliodora* y *Tabebuia donnell-smithii* en la hacienda los Laureles, cantón Archidona, Napo. La superficie de las plantaciones abarca un total de 100 ha, de las que se muestrearon 1,25 ha para *C. catenaeformis*, 1,25 ha para *C. alliodora* y 1,25 ha para *T. donnell-smithii*. La intensidad de muestreo fue del 5%. La cuantificación de la biomasa total, el almacenamiento de Carbono y el secuestro de CO<sub>2</sub> se realizaron de forma no destructiva, utilizando la ecuación alométrica para bosques tropicales. Los resultados mostraron una biomasa de 27.56 TON/ha<sup>-1</sup> para *C. catenaeformis*, 12.14 TON/ha<sup>-1</sup> para *C. alliodora* y 32.68 TON/ha<sup>-1</sup> para *T. donnell-smithii*. El almacenamiento de carbono fue de 13.78 TON C/ha<sup>-1</sup> para *C. catenaeformis*, 5.02 TON C/ha<sup>-1</sup> para *C. alliodora* y 16.34 TON C/ha<sup>-1</sup> para *T. donnell-smithii*. El secuestro de CO<sub>2</sub> fue de 21.91 TON CO<sub>2</sub>/ha<sup>-1</sup> para *C. catenaeformis*, 8.67 TON CO<sub>2</sub>/ha<sup>-1</sup> para *C. alliodora* y 23.31 TON CO<sub>2</sub>/ha<sup>-1</sup> para *T. donnell-smithii*. El análisis estadístico indicó que el almacenamiento de carbono y el secuestro de CO<sub>2</sub> dependen directamente del DAP, la altura, la densidad y la edad de la plantación.

**Palabras claves:** biomasa aérea, carbono almacenado, secuestro de carbono, plantaciones forestales.

## ABSTRACT

The objective of the work was to determine the amount of carbon stored and sequestered in plantations of *Cedrelinga catenaeformis*, *Cordia alliodora* and *Tabebuia donnell-smithii* in the hacienda Los Laureles, Canton Archidona, Napo. The total area of the plantations covers a total of 100 ha of which 1.25 ha were sampled for *C. catenaeformis*, 1.25 ha for *C. alliodora* and 1.25 ha for *T. donnell-smithii*. The sampling intensity was 5%. For the quantification of total biomass, carbon storage and CO<sub>2</sub> sequestration, it was carried out non-destructively, using the allometric equation for tropical forests. The results show a biomass of 27.56 TON/ha-1 for *C. catenaeformis*, 12.14 TON / ha-1 for *C. alliodora* and 32.68 TON/ha-1 for *T. donnell-smithii*. Carbon storage was 13.78 TON C/ha-1 for *C. catenaeformis*, 5.02 TON C / ha-1 for *C. alliodora* and 16.34 TON C/ha-1 for *T. donnell-smithii*. The CO<sub>2</sub> sequestration was 21.91 TON CO<sub>2</sub>/ha-1 for *C. catenaeformis*, 8.67 TON CO<sub>2</sub>/ha-1 for *C. alliodora* and 23.31 TON CO<sub>2</sub>/ha-1 for *T. donnell-smithii*. Statistical analysis indicated that carbon storage and CO<sub>2</sub> sequestration depends directly on the DAP, height, density and age of the plantation.

**Keywords:** aerial biomass, stored carbon, carbon sequestration, forest plantations.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	2
<b>1.2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b>	3
<b>1.3. OBJETIVOS</b>	3
<b>1.3.1 Objetivo General</b>	3
<b>1.3.2 Objetivos Específicos</b>	3
<b>CAPÍTULO II.</b>	4
<b>FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b>	4
<b>2.1. ANTECEDENTES</b>	4
<b>2.2. BASES TEÓRICAS</b>	5
<b>2.2.1. Almacenamiento de Carbono</b>	5
<b>2.2.2. Fotosíntesis en los procesos de almacenamiento de Carbono</b>	5
<b>2.2.3. Secuestro de Carbono</b>	5
<b>2.2.4. Carbono en Ecosistemas Forestales</b>	6
<b>2.2.5. Carbono en Plantaciones Forestales</b>	6
<b>2.2.6. Bosques tropicales</b>	7
<b>2.2.7. Almacenamiento de carbono como mitigación ante el cambio climático</b>	7
<b>2.2.8. Relevancia de los estudios de captura en los ecosistemas forestales</b>	8
<b>2.2.9. Métodos para calcular biomasa</b>	8
<b>2.3.10. Estimación de biomasa y carbono mediante modelos alométricos</b>	9
<b>2.2.11. Descripción de las especies: <i>C. catenaeformis</i>, <i>C. alliodora</i>, <i>T. donnell-smithii</i></b>	9
<b>CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b>	11
<b>3.1. LOCALIZACIÓN</b>	11
<b>3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN</b>	12
<b>3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN</b>	12
<b>3.3.1. Metodología de campo</b>	12
<b>3.3.2. Variables analizadas</b>	13
<b>3.3.2.1 Clase diamétrica: Densidad, biomasa, almacenamiento y secuestro de CO<sub>2</sub></b>	15
<b>3.3.2.2. Determinación de la biomasa sobre el suelo</b>	15
<b>3.3.2.3 Determinación del almacenamiento de carbono (c)</b>	16
<b>3.3.2.4 Cálculo del secuestro de CO<sub>2</sub></b>	16
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	17

<b>4.1 SUPERFICIE Y PARCELAS MUESTREADAS</b>	17
<b>4.2 BIOMASA</b>	17
<b>4.2.1 Biomasa por parcela</b>	17
<b>4.2.2 Densidad por clase diamétrica</b>	19
<b>4.2.3 Biomasa por clase diamétrica</b>	20
<b>4.3 ALMACENAMIENTO DE CARBONO POR CLASE DIAMÉTRICA</b>	21
<b>4.4 SECUESTRO DE CO<sub>2</sub> POR CLASE DIAMÉTRICA</b>	22
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	25
<b>5.1. CONCLUSIONES</b>	25
<b>5.2. RECOMENDACIONES</b>	26
<b>CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA</b>	27

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Localización del área de estudio .....	11
<b>Figura 2.</b> Diseño implementado para el establecimiento de las parcelas en campo.....	12
<b>Figura 3.</b> Diseño de muestreo en bloques completamente al azar.....	13
<b>Figura 4.</b> Diámetro (cm), Biomasa sobre el suelo (TON/ha <sup>-1</sup> ), Área Basal (m <sup>2</sup> /ha) en <i>C. catenaeformis</i> .....	17
<b>Figura 5.</b> Diámetro (cm), Biomasa sobre el suelo (TON/ha <sup>-1</sup> ), Área Basal (m <sup>2</sup> /ha) en <i>C. alliodora</i> .....	18
<b>Figura 6.</b> Diámetro (cm), Biomasa sobre el suelo (TON/ha <sup>-1</sup> ), Área Basal (m <sup>2</sup> /ha) en <i>T. donnell-smithii</i> .....	19
<b>Figura 7.</b> Promedios de la Densidad por parcela y clases diamétricas .....	20
<b>Figura 8.</b> Biomasa por clase diamétrica de las especies .....	21
<b>Figura 9.</b> Almacenamiento de Carbono por clases diamétricas en las especies .....	22
<b>Figura 10.</b> Secuestro de CO <sub>2</sub> por clases diamétricas de las especies.....	22
<b>Figura 11.</b> Biomasa, Almacenamiento de carbono y Secuestro de CO <sub>2</sub> de <i>C. catenaeformis</i> (C.c), <i>C. alliodora</i> (C.a) y <i>T. donnell-smithii</i> (T.d).....	24

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Variables analizadas .....	14
<b>Tabla 2.</b> Clases Diamétricas y Densidades de las tres especies de estudio .....	15
<b>Tabla 3.</b> Densidad total por clases diamétricas en las especies .....	19

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Datos de la especie <i>C. catenaeformis</i> .....	31
<b>Anexo 2.</b> Datos de campo de la especie <i>C. alliodora</i> .....	32
<b>Anexo 3.</b> Datos de campo de la especie <i>T. donnell-smithii</i> .....	33
<b>Anexo 4.</b> <i>Cedrelinga catenaeformis</i> , <i>Cordia alliodora</i> , <i>Tabebuia donnell-smithii</i> .....	34
<b>Anexo 5.</b> Fotografías de la fase de campo del Proyecto de investigación .....	36

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

Los bosques desempeñan un papel importante en la mitigación del cambio climático. Los ecosistemas forestales pueden almacenar cantidades significativas de gases de efecto invernadero y en particular el CO<sub>2</sub>. Por ello, en las últimas décadas ha surgido un interés considerable en incrementar el contenido de carbono en la vegetación terrestre a través de la conservación forestal y la reforestación (CEPAL, 2019).

En la naturaleza el Carbono se encuentra en cualquier parte: en el aire como dióxido de carbono o anhídrido carbónico. Las actividades humanas están produciendo un exceso de este y otros Gases de Efecto Invernadero (GEI), que potencialmente alteran el clima de la tierra.

Los sistemas de uso de la tierra que incluyan plantaciones forestales, mitigan el cambio climático al fijar Carbono en biomasa, convirtiéndolos en una de las principales alternativas como sumideros de CO<sub>2</sub> atmosférico. A partir del protocolo de Kyoto 1992, se establecieron compromisos de reducción de las emisiones de los GEI por parte de los países industrializados, dentro del cual se pueden incluir proyectos como actividades de plantaciones protectoras o comerciales; principalmente en áreas de bosques, con fines de captura de Carbono, reduciendo la presión de los bosques naturales, regulando el clima, optimizando la calidad del agua, el paisaje y la biodiversidad.

La deforestación y la degradación del recurso forestal son muy importantes en plantaciones. Estimar con regularidad la dinámica de los flujos netos de Carbono entre bosques y la atmósfera es uno de los problemas abiertos más importantes, ya que son parte de un sistema con cuatros tipos generales de reservorio de carbono (biomasa viva, biomasa aérea, biomasa subterránea, biomasa muerta), con tiempos de residencia y flujos asociados muy diferentes. Estos reservorios se encuentran estrechamente interrelacionados, lo que hace necesario un enfoque sistemático (Acosta & Quednow, 2001).

Una de las estrategias que se realizan para combatir el incremento en la concentración del CO<sub>2</sub> en la atmósfera se basa en la captura y secuestro de Carbono en la biomasa forestal. Los bosques son los ecosistemas terrestres más extensos, ocupando el 30% de la superficie emergida del planeta, que podrían restaurarse y rehabilitarse para recuperar la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas que se han perdido, ya que una buena gestión de los bosques asegura la supervivencia de los ecosistemas forestales y la fijación de carbono (Pérez, Fernández, & Sayer, 2007).

## 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las principales amenazas que afectan a la conservación de los bosques existentes están relacionadas con la producción intensiva de la madera. Las actividades humanas están produciendo un exceso de este y otros Gases de Efecto Invernadero (GEI), que potencialmente alteran el clima de la tierra. En tanto que los ecosistemas forestales están, almacenando el C de la atmósfera en la biomasa y el suelo (Schlegel, 2001).

El almacenamiento de carbono depende del tipo de especie, del crecimiento y del clima. Entre mayor es la cantidad de carbono almacenado, mayor es su aporte para la mitigación de los efectos del cambio climático. Por tanto, al conocer la cantidad de carbono almacenado en varias especies se puede decidir cuál de ellas es la más indicada para su almacenamiento, de manera que pueda ser usada para proyectos de reforestación como especie clave para los programas de mitigación de los efectos del cambio climático.

Por lo tanto, la estimación adecuada de la biomasa de un bosque es un elemento de gran importancia debido a que ésta permite determinar los montos de carbono y otros elementos, y representa la cantidad potencial de carbono que puede ser liberado a la atmósfera, o conservado y fijado en una determinada superficie (Salazar, Delegado, & Cando, 2017).

El carbono almacenado, se encuentra en la biomasa de los árboles y corresponde a la materia orgánica producida en un bosque, los árboles cumplen un papel crucial en el ambiente por los servicios que ellos ofrecen, como es la captura de carbono, belleza paisajística y biodiversidad. La distribución del C en los diferentes componentes de un árbol hace posible determinar los depósitos de carbono y como es que algunos factores del ambiente pueden modificarlos.

En este contexto la presente investigación, pretende estimar el carbono almacenado y secuestrado en las especies de *C. catenaeformis*, *C. alliodora* y *T. donnell-smithii* en la Hacienda Los Laureles, con la finalidad de que, al realizar comparaciones de almacenamiento entre las tres especies, se pueda contribuir a proyectos de reforestación, captura de carbono y mitigación de los efectos del cambio climático.



## **1.2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

¿Cuánto carbono está almacenado y cuánto CO<sub>2</sub> se encuentra secuestrado en plantaciones de *C. catenaeformis*, *C. alliodora* y *T. donnell-smithii*?

## **1.3. OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo General**

Evaluar la cantidad de carbono almacenado y secuestrado de CO<sub>2</sub> en plantaciones de *C. catenaeformis*, *C. alliodora* y *T. donnell-smithii*, en la hacienda los Laureles.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Determinar la biomasa aérea en plantaciones de *C. catenaeformis*, *C. alliodora* y *T. donnell-smithii*.
- Determinar el almacenamiento de C y el secuestro de CO<sub>2</sub> en plantaciones de *C. catenaeformis*, *C. alliodora* y *T. donnell-smithii*.

## **CAPÍTULO II.**

### **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

#### **2.1. ANTECEDENTES**

Ecuador es un país con un alto nivel de cobertura vegetal y una diversidad biológica muy alta. Cerca del 50% del área del país está cubierta por bosques (Sierra, 1999).

El carbono almacenado en la biomasa en Ecuador corresponde a 1.63 gigatoneladas. El 58% de la biomasa total de carbono del país se encuentra almacenado en la región Amazónica, la cual cubre alrededor de la tercera parte de la superficie continental del país (Bertzky, 2010).

Los ecosistemas forestales, se distribuyen en bosques tropicales con 42%, en bosques boreales con 33% y en bosques templados con un 25%, se considera que los bosques aportan el 80% del flujo del carbono que se da entre la vegetación y suelos con la atmósfera. Los bosques son el ecosistema que captura y conserva más el carbono que cualquier otro (Pardos, 2010).

Según (Torres & Guevarra, 2002), el almacenamiento neto de carbono en los bosques reforestados depende del manejo a la cobertura vegetal, edad, distribución de tamaños, estructura y composición. Además, los ecosistemas permiten reducir la concentración de carbono en la atmósfera, misma que se incrementa debido a las emisiones producto de la actividad humana.

La comunidad Yanayacu, cantón Archidona, Provincia de Napo, cuenta con 20 familias indígenas Kichwas. Esta comunidad no tiene conocimiento preciso de información sobre manejo de los recursos forestales; con el presente trabajo se va a dar información a la comunidad, que se espera le sirva para que puedan apoyar los procesos de reforestación y consecuentemente de mitigación del cambio climático.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. Almacenamiento de Carbono**

El carbono es un elemento fundamental de los compuestos orgánicos, la disponibilidad de carbono no es infinita en el planeta, por lo tanto, el carbono circula entre la materia orgánica y el ambiente físico-químico de manera constante (Petre; Ola; Ali, 2016).

El carbono almacenado es la cantidad total de carbono contenido en la biomasa. Se genera cuando en un tiempo el CO<sub>2</sub> se encuentra constituyendo la estructura del árbol hasta que es expulsado a la atmósfera o al suelo. Cuando se cuantifica el almacenamiento de un bosque, se muestrea: la biomasa viva almacenada en las hojas, las ramas, el fuste y las raíces; la necromasa almacenada en la hojarasca y de la madera muerta; y el carbono en la materia orgánica del suelo (Rosas A, 2011). Los bosques manejados de manera sostenible almacenan y absorben carbono continuamente. Los árboles capturan carbono por mucho tiempo. Cuando los árboles son aprovechados, el carbono continúa almacenado en los productos maderables. Los bosques aprovechados son replantados y el ciclo empieza una vez más para el carbono (Segura, 1997).

El ciclo del carbono es el sistema de las transformaciones químicas de compuestos que contienen carbono en los intercambios entre la atmósfera, hidrósfera y litósfera (Pérez G, 2019). Es un ciclo biogeoquímico de gran importancia para la regulación del clima de la Tierra, y en él se ven implicadas actividades básicas para el sostenimiento de la vida (Saugier & Pontauiller, 2006).

### **2.2.2. Fotosíntesis en los procesos de almacenamiento de Carbono**

Las plantas tienen la capacidad de captar el CO<sub>2</sub> atmosférico y mediante procesos fotosintéticos, metabolizarlo para la obtención de azúcares y otros compuestos que requieren para el normal desarrollo de su ciclo vital. A través de la fotosíntesis extraen el carbono de la atmósfera (en forma de CO<sub>2</sub>) y lo convierten en biomasa, ésta al descomponerse se convierte en parte del suelo (en forma de humus) según (Carvajal, Mota, & Iglesias, 2010).

### **2.2.3. Secuestro de Carbono**

El secuestro de carbono se efectúa en los ecosistemas forestales mediante el intercambio de carbono con la atmósfera a través de la fotosíntesis y la respiración, llevando al almacenamiento en la biomasa y en el suelo (Carvajal, 2009). Se considera un servicio ambiental basado en la capacidad de los árboles para absorber y almacenar el carbono atmosférico en forma de biomasa. Los niveles de

absorción pueden ser mejorados con el manejo adecuado de los ecosistemas forestales, evitando su conversión en fuentes emisoras de gases de efecto invernadero (Petre;Ola;Ali, 2016).

La cantidad de CO<sub>2</sub> que el árbol captura durante un año, consiste sólo en el pequeño incremento anual que se presenta en la biomasa del árbol (madera) multiplicado por la biomasa del árbol que contiene carbono. Hay una captura de carbono neta, únicamente mientras el árbol se desarrolla para alcanzar su madurez. Cuando el árbol muere, emite la misma cantidad de carbono que capturó. Un bosque en plena madurez aporta finalmente la misma cantidad de carbono que captura. Lo primordial es cuanto (CO<sub>2</sub>) captura el árbol durante toda su vida (Pardos, 2010).

Los índices de secuestro de carbono varían de acuerdo con el tipo de árboles, suelos, topografía y prácticas de manejo en el bosque. El punto de saturación se presenta cuando los árboles alcanzan su madurez y desarrollo completo. Las prácticas para captura de carbono deben continuar, aún después de haber llegado al punto de saturación para impedir la emisión de carbono nuevamente a la atmósfera (Arévalo, 2015).

#### **2.2.4. Carbono en Ecosistemas Forestales**

Los ecosistemas forestales contienen el más alto contenido en carbono y son capaces de una absorción neta de CO<sub>2</sub>, y, por lo tanto, de contribuir a la reducción de CO<sub>2</sub> atmosférico. Una vez que el CO<sub>2</sub> atmosférico es incorporado a los procesos metabólicos de las plantas mediante la fotosíntesis, éste participa en la composición de la materia prima, y finalmente durante el tiempo en que el carbono se encuentra constituyendo alguna estructura del árbol y hasta que es remitido, se considera que se encuentra almacenado (Ordoñez & Masera, 2010).

El Ecuador se comprometió a reducir un 20,9% de sus emisiones de carbono, a la Organización de Naciones Unidas para el acuerdo de París sobre el cambio climático. En el 2008 para el territorio continental del Ecuador, se generó un mapa de carbono forestal. El mapa está basado en la estratificación actualizada de la vegetación y en estimados de biomasa aérea. Más del 50% del carbono almacenado en la biomasa se encuentra en zonas clasificados como áreas con alta o muy alta capacidad de almacenamiento de carbono de acuerdo con su composición vegetal y características edafológicas (FAO, 2015).

#### **2.2.5. Carbono en Plantaciones Forestales**

Las plantaciones forestales se le consideran como sumidero de carbono a nivel global (Cuberos & Rojas, 1999); son de suma importancia para el ciclo global del carbono porque almacenan grandes

cantidades de este en la vegetación y el suelo, y lo intercambian con la atmósfera mediante los procesos de fotosíntesis y respiración (Ruiz, 2002).

La calidad de manejo de plantaciones forestales es una contribución significativa para controlar los niveles de CO<sub>2</sub> en la atmósfera. Otras actividades que pueden contribuir son la conservación de bosques en peligro de deforestación, reforestación y agroforestería (Fischer & Trujillo, 1999). Estos bosques tienen alta capacidad de absorción de CO<sub>2</sub> dióxido de carbono, y por lo tanto, de contribuir a la reducción del dióxido de carbono atmosférico (Medina, 2006)

### **2.2.6. Bosques tropicales**

Los bosques tropicales a nivel mundial influyen significativamente en el ciclo del carbono y tienen la capacidad de fijar y almacenar carbono en grandes cantidades. El carbono se acumula en la biomasa de los bosques a través de la fotosíntesis, cuyo proceso ha hecho que los bosques se consideren “sumideros de carbono”. Al perderse los bosques tropicales, el carbono contenido en los árboles se libera a la atmósfera en forma de CO<sub>2</sub>, puede liberarse de forma rápida por quemaduras o incendios forestales y de forma lenta con la descomposición (Alatorre, 1995).

Según Ortiz y Kanninen (1998), el manejo y conservación de los bosques tropicales son aspectos de vital importancia para atender el problema del cambio climático. Conservar los bosques como sumideros de carbono y frenar las emisiones producidas por la deforestación y degradación son las principales acciones que se manejan actualmente en el contexto internacional.

### **2.2.7. Almacenamiento de carbono como mitigación ante el cambio climático**

Los bosques juegan un papel importante en la mitigación del cambio climático, debido que tienen la capacidad para fijar y absorber el CO<sub>2</sub>. Sin embargo, cuando son destruidos por el cambio de uso de suelo, la explotación excesiva o la presencia de incendios, el carbono almacenado se libera nuevamente hacia la atmósfera en forma de CO<sub>2</sub>, contribuyendo a agravar el problema del cambio climático (Santibañez, 2014).

Según la (CONAFOR, 2011) Comisión Nacional Forestal, cada año se destruyen en el mundo alrededor de 13 millones de hectáreas de bosques, convirtiendo a la deforestación en una de las más importantes fuentes de emisiones de carbono.

### **2.2.8. Relevancia de los estudios de captura en los ecosistemas forestales**

Los árboles y otras plantas forestales remueven grandes cantidades de dióxido de carbono de atmósfera a medida que crece almacenando carbono en la biomasa de sus hojas, ramas, tallos y raíces. Debido a que los bosques tienen una capacidad tremenda de captación para el almacenamiento de carbono, además de reducir las emisiones de GEI provenientes de los combustibles fósiles, una de las maneras más efectivas para remover el carbono de la tierra es a través del manejo sostenible de los bosques (Ruiz; Bonilla, 2014).

Los bosques aportan un sinnúmero de beneficios naturales que incluye la purificación del aire, cuencas hidrográficas y la conservación de la biodiversidad. El reconocimiento de las conexiones importantes entre bosques, carbono y clima han motivado el llamado desde diferentes grupos, que va desde los pueblos indígenas hasta los ministerios de gobierno, requiriendo fuentes básicas de información sobre las herramientas y técnicas usadas para obtener estimaciones de campo de almacenamiento de carbono (Walker, Baccini, & Bausch, 2011).

### **2.2.9. Métodos para calcular biomasa**

Dentro del ámbito internacional se han puesto en marcha estrategias para la mitigación del calentamiento global como las negociaciones de bonos de carbono, para que estas estrategias sean una realidad dentro de proyectos forestales es necesario medir y monitorear el carbono almacenado (Pesantez, 2015).

Para estimar la biomasa aérea de un bosque existen los métodos directo e indirecto. El método directo se fundamenta lo siguiente; se deben medir los parámetros básicos de un árbol (entre los más importantes el diámetro a la altura del pecho, altura total, diámetro de copa y longitud de copa); derivarlo y calcular la biomasa pesando cada uno de los componentes (fuste, ramas y follaje), es denominado también método destructivo según el Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL, 2008).

Según (Segura; Andrade, 2008) para evaluar la biomasa aérea de manera indirecta, se la realiza a través de ecuaciones y modelos matemáticos obtenidos por análisis de regresión entre las variables conectadas en terreno y en inventarios forestales. La utilización de este método básicamente consiste en medir los árboles y estimar volúmenes de la madera mediante la toma de muestras, se pueden estimar parámetros necesarios como el peso seco y la densidad de la madera necesaria para estimar la biomasa total.

### **2.3.10. Estimación de biomasa y carbono mediante modelos alométricos**

Según (Rondeux, 2010) dentro de su libro Medición de árboles y masas forestales, se afirma que los modelos alométricos son ecuaciones matemáticas que permiten estimar el volumen, la biomasa y el carbono de los árboles en función de variables de fácil medición, como el diámetro a la altura del pecho y/o la altura de los árboles.

### **2.2.11. Descripción de las especies: *C. catenaeformis*, *C. alliodora*, *T. donnell-smithii***

La especie *C. catenaeformis* D. Duke, más conocida como “chuncho” o “tornillo”, alcanza hasta 50 metros de altura con diámetros de 60 a 150 centímetros, su fuste es recto y con grandes raíces tablares, la corteza es café y agrietada vertical y profundamente, posee copa amplia y redondeada con gran tamaño. Presenta inflorescencias terminales de color verde – amarillentas y un fruto que es vaina o legumbre. La madera tiene una densidad básica de 0,37 a 0,42 g/cm<sup>3</sup> (MAGAP, 2014). Requiere suelos franco-arenosos profundos con buen drenaje, puede desarrollarse a una altitud de 120 a 800msnm, con una precipitación entre 2000 a 3800mm y una temperatura promedio de 24°C.

#### **Taxonomía de *C. catenaeformis***

**División:** Magnoliophyta

**Clase:** Magnoliophyta

**Orden:** Fabales

**Familia:** Fabaceae

**Género:** *Cedrelinga*

**Especie:** *Catenaeformis*

**Nombre Científico:** *C. catenaeformis* D. Duke

**Nombre Común:** chuncho

La especie *C. alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken, puede alcanzar hasta 35 metros de altura y 40 a 60 centímetros de diámetro. Tiene hojas simples alterna, con olor desagradable, lisas por el haz y rugosas por el envés, de 10 a 12 centímetros de largo por 3 a 8 centímetros de ancho. Posee flores blancas, pequeñas de 0,5 centímetros de largo hermafroditas y agrupadas en panículas muy olorosas. La especie tiene su óptimo desarrollo en suelos profundos, franco arenoso y franco arcilloso, bien drenados de preferencia aluvial y rica en materia orgánica, soporta suelos alcalinos neutros y ligeramente ácidos, se adapta bien en climas tropicales, con precipitaciones entre 2000 a 4000 mm anuales, temperatura entre 20 – 27°C y en una altitud de 50 a 1900 msnm (Mendoza; Chalan; Ayala; Mendoza, 2015).

**Taxonomía de *C. alliodora*****División:** Magnoliophyta**Clase:** Magnoliopsida**Orden:** Lamiales**Familia:** Boraginaceae**Género:** *Cordia***Especie:** *Alliodora***Nombre Científico:** *C. alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken**Nombre Común:** laurel

La especie *T. donnell-smithii*, es un árbol que llega a medir hasta 30 metros de altura, con el tronco ligeramente acanalado, ramas ascendentes o hacia arriba, con la copa alargada. La corteza es lisa sus hojas son compuestas formadas por un grupo de 7 hojas secundarias o foliolos. Los frutos son cápsulas alargadas de 25 a 50 cm de largo, colgantes con 9 a 12 costillas, contienen numerosas semillas aplanadas y aladas, incluyendo un ala de color café-amarillento. La precipitación anual promedio en el área de distribución natural de la primavera varía entre alrededor de 1000 a 3000 mm por año. En su área de distribución natural crece sobre suelos aluviales y suelos derivados de cenizas volcánicas, roca metamórfica y piedra caliza. Las texturas de suelo adecuados van de margas arenosas hasta francos arcillosos, con unos valores de pH de entre 5.5 y 7.5. El crecimiento en altura disminuye gradualmente hasta que se alcanza una altura máxima de 25 a 35 m. El crecimiento en diámetro en los buenos sitios varía entre alrededor de 1 y 3 cm por año (Aguirre, Cifuentes, & Cadena, 2014).

**Taxonomía de *T. donnell-smithii*****División:** Magnoliophyta**Clase:** Equisetopsida**Orden:** Lamiales**Familia:** Bignoniaceae**Género:** *Tabebuia***Especie:** *Donnell-smithii***Nombre Científico:** *T. donnell-smithii* Rose**Nombre Común:** guayacán



# CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

## 3.1. LOCALIZACIÓN

El presente trabajo de investigación se efectuó en la provincia de Napo, cantón Archidona, parroquia Cotundo en la comunidad Yanayacu, hacienda los Laureles. La zona reforestada cubre una superficie de 100 ha.

La hacienda los Laureles, presentaba un bosque reforestado de las tres especies arbóreas que son: *C. catenaeformis* (Chuncho), *C. alliodora* (Laurel) y *T. donnell-smithii* (Guayacán). Se encuentra a una altitud de 576 y 577 msnm, longitud: W 077°48'27.77" y latitud: S 0°54'34.2", con una precipitación anual entre 4000 a 5000 mm, el clima es húmedo tropical y su temperatura promedio de 24°C (PDOT, 2014). En la figura 1 se presenta la localización de la zona de estudio, así como la ubicación de las parcelas analizadas.

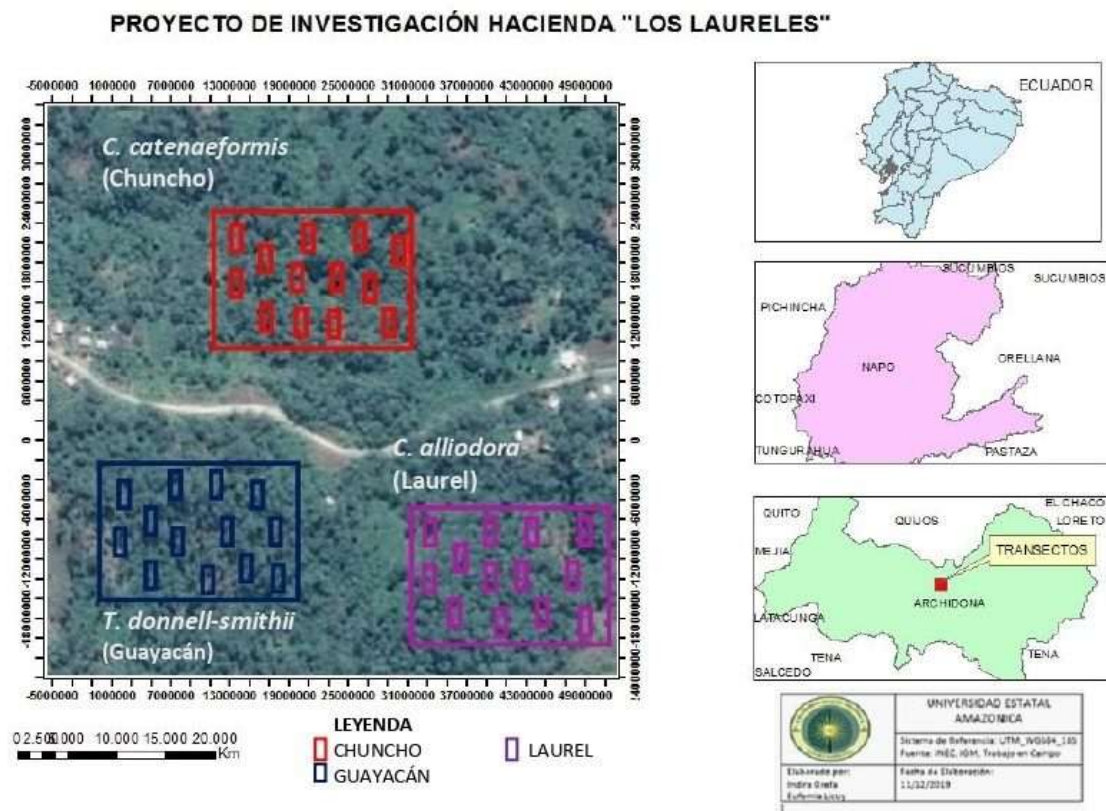


Figura 1. Localización del área de estudio

## 3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación fue descriptivo, ya que se recopiló información existente de manera clara y real de las características específicas para el objeto de estudio como son: DAP, área basal, volumen y biomasa aérea. Cuantitativo: se basó en la recopilación de datos como el diámetro, el área basal, la densidad y la biomasa, utilizando el programa SPSS versión 22. con el que se analizó la varianza (ANOVA) y mediante la prueba de Tukey para estimar las diferencias significativas a nivel de parcelas y especies.

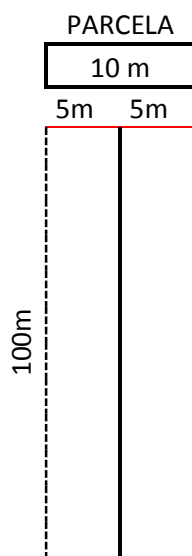
## 3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

Los métodos de investigación empleados fueron de observación, mediante un recorrido en el que se observaron las plantaciones, lo que permitió determinar el área de establecimiento de las parcelas. Además, se realizó la medición del DAP, la altura y posteriormente los diferentes cálculos empleados con ecuaciones alométricas.

### 3.3.1. Metodología de campo

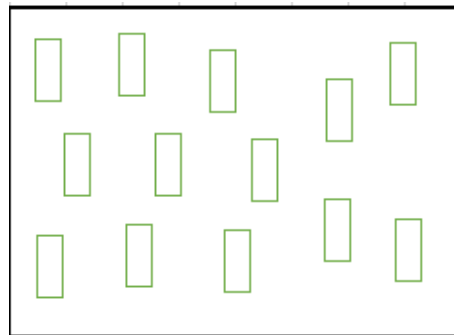
#### a) Superficie e intensidad de muestreo

Para la especie *C. catenaeformis* (Chuncho), cuya superficie plantada es de 50 ha, se seleccionó la intensidad de muestreo del 5% no probabilístico, basado en la metodología de (Spitler, 1995). Este 5% corresponde a 1,25 ha del total, que fue la superficie muestreada para esta especie. En cuanto al muestreo de las especies se aplicaron parcelas lineales de 10x100m de acuerdo a la metodología de (Torres et al., 2013). (Figura 2)



**Figura 2.** Diseño implementado para el establecimiento de las parcelas en campo. Fuente (Elaboración propia)

Para la especie *C. alliodora* y *T. donnell-smithii* cuya superficie plantada es de 25 ha se seleccionó la intensidad de muestreo del 5% no probabilístico, basado en la metodología de (Spitler, 1995), Este 5% corresponde a 1,25 ha del total, que fue la superficie muestreada para esta especie. En cuanto al muestreo de las especies se aplicaron parcelas lineales de 10x100m de acuerdo a la metodología de (Torres et al., 2013) Aunque las superficies plantadas no son iguales para las tres especies, con la finalidad de estandarizar los cálculos se tomaron como base las misma superficies de muestreo (Figura 3).



**Figura 3** Diseño de muestreo en bloques completamente al azar

## **b. Datos de campo**

Para el trabajo de investigación se realizaron parcelas de 10x100 m, para todas las especies, registrando los datos de: DAP utilizando cinta métrica para la medición de cada individuo, para la altura del fuste se utilizó un barrote de 6m como unidad de medida, y por último se llevó un registro fotográfico de cada uno de los procesos realizados.

### **3.3.2. Variables analizadas**

En la siguiente tabla 1. Se pueden observar las variables analizadas

**Tabla 1.** Variables analizadas

Parámetros	Indicadores	Fórmula/Rango
<b>CLASE DIAMÉTRICA</b>	<b>DAP=</b> Diámetro a la altura del pecho <b>DENSIDAD</b>	<b>Rangos de:</b> 5-10 cm 10- 15 cm 15 - 20 cm >20 cm # de individuos
<b>BIOMASA AÉREA</b>	<b>Ba=</b> Peso Verde de la Biomasa Aérea <b>D=</b> Diámetro <b>H=</b> Altura <b>a, b y c</b> son constantes para bosques tropicales y subtropicales (Higuchi & Carbalho, 1994)	<b>Ba=a*Db*Hc</b> (Higuchi & Carbalho, 1994)
	<b>Br=</b> Peso Verde de la Biomasa Radicular <b>Ba=</b> Biomasa aérea <b>0,20=</b> Porcentaje de la Biomasa aérea considerado para la presente investigación constantes para bosques tropicales y subtropicales (Higuchi & Carbalho, 1994)	<b>Br= Ba*0.20</b> (Higuchi & Carbalho, 1994)
	<b>BVT=</b> Biomasa Verde Total <b>Br=</b> Peso Verde de la Biomasa Radicular <b>Ba=</b> Biomasa aérea	<b>BVT= Ba + Br</b> (Higuchi & Carbalho, 1994)
<b>ALMACENAMIENTO DE CARBONO</b>	<b>CA=</b> Carbono Aéreo <b>BT=</b> Biomasa total <b>0,5=</b> Constante del promedio del 50% de carbono almacenado (IPCC,2003)	<b>CA= BT*0.5</b> (IPCC, 2003)
	<b>CR=</b> Carbono Radicular <b>0,24=</b> Constante para bosque húmedo tropical y subtropical (IPCC, 2003) <b>CA=</b> Carbono Aéreo	<b>CR=0,24*(CA)</b> (IPCC, 2003)
	<b>CT=</b> Carbono Total <b>CAT=</b> Carbono aéreo en toneladas <b>CR=</b> Carbono Radicular	<b>CT= CAT+CR</b> (IPCC, 2003)
<b>SECUESTRO DE CO2</b>	<b>CO2=</b> Secuestro de Carbono <b>CT=</b> Carbono Total <b>3,6663=</b> Factor de conversión a CO2; Resultante del cociente de los pesos moleculares del dióxido de carbono y del carbono; *(Peso de las emisiones) /*(Peso atómico del Carbono).	<b>CO2=CT*3.6663</b> (Vallejo, 2009), (Alegre, 2008), (Gamarra, 2001) y (IPCC, 2000)

### 3.3.2.1 Clase diamétrica: Densidad, biomasa, almacenamiento y secuestro de CO<sub>2</sub>

Se consideraron 4 clases diamétricas (5cm-10cm ,10cm-15cm, 15cm-20cm, >20cm) y la densidad de los árboles por cada una de las especies, utilizando para ello una tabla de control. Tabla 2.

**Tabla 2.** Clases Diamétricas y Densidades de las tres especies de estudio

Clases diamétrica	<i>Cedrelinga Catenaeformis</i>	<i>Cordia alliodora</i>	<i>Tabebuia donnell-smithii</i>
5cm - 10cm			
10cm -15cm			
15cm- 20cm			
> 20cm			

Para el cálculo de la densidad, la biomasa aérea, el almacenamiento de carbono y el secuestro de carbono, se analizaron datos de campo como (densidad y DAP) por especie. Se sumaron los DAP y se dividió para el número de árboles por hectárea, en base a las clases diamétrica.

### 3.3.2.2. Determinación de la biomasa sobre el suelo

Las proporciones entre medidas de varios órganos de los árboles obedecen a una regla que es la misma para todos los árboles que viven en las mismas condiciones, desde el más pequeño al más grande, para la altura y diámetro, entre tamaño de la copa del árbol y el diámetro, entre la biomasa y el diámetro. Se trata del principio básico de la alometría que permite predecir una medida de un árbol (lo típico es su biomasa). La biomasa se calculó en base de una ecuación alométrica que es una fórmula que determina de forma cuantitativa dicha relación (medida de un árbol- biomasa- en función de otra medida, por ejemplo, su diámetro). La ecuación alométrica utilizada, es la que se usa para bosques tropicales, mediante la metodología de (Chave, et al., 2005).

$$a) \text{BSS} = (p * \exp(-1.499 + (2.148 * \ln(D)) + (0.207 * \ln(D)^2) - (0.0281 * \ln(D)^3)) * 0.001$$

**Dónde:**

**BSS** = Biomasa sobre el suelo (árbol), (t/ha).

**p** = es la densidad de Madera (g/cm<sup>3</sup>)

**D** = es el diámetro a la altura del pecho (cm).

Para el valor “p” (densidad de la madera), se utilizó tabla de valores para las especies en estudio recomendados para América del Sur tropical según (Chave, et al., 2005). Para *Tabebuia donnell-*

*smithii* se utilizó 0,614 g/ cm<sup>3</sup> según Chave et al.2006, valor que se asigna cuando no esta definida la densidad a nivel de especie.

### 3.3.2.3 Determinación del almacenamiento de carbono (c)

Se utilizó la fórmula del (IPCC, 2003). En la que para estimar el carbono almacenado total se multiplica la biomasa total por el factor 0.5 debido a que la biomasa vegetal de un árbol, en promedio contiene un 50% de carbono almacenado como lo señala también Pearson *et al.*2005, para finalmente obtener este valor en TC/ha<sup>-1</sup>.

$$\text{b) CA} = \text{BT} * 0.5$$

**Dónde:**

**CA**= Carbono aéreo en toneladas de carbono (Tc)

**BT**= Biomasa total en toneladas (t)

### 3.3.2.4 Cálculo del secuestro de CO<sub>2</sub>

Para calcular el secuestro de dióxido de carbono se empleó la siguiente fórmula, propuesta por (Vallejo, 2009), (Alegre, 2008), (Gamarra, 2001) y (IPCC, 2003).

$$\text{c) CO}_2 = \text{CT} * 3.6663$$

**Dónde:**

**CO<sub>2</sub>**= Dióxido de carbono secuestrado (t/ha)

**CT**= Carbono total almacenado (t/ha)

**3.6663**= Factor de conversión a CO<sub>2</sub>, resultante del cociente de los pesos moleculares del dióxido de carbono y del carbono; \*(Peso de las emisiones) /\*(Peso atómico del Carbono).

\*Peso del CO<sub>2</sub>= C+2\*O= 43.999915; \*Peso atómico del carbono= 12.001115; \*Peso atómico del Oxígeno= 15.9994\*2=31.9988

Los datos obtenidos de Carbono aéreo y Carbono radicular, dan el valor del carbono total por cada árbol, con esta información se aplicó la fórmula para calcular el carbono total por cada árbol y posteriormente se realizó la suma de cada uno por cada especie, encontrándose el siguiente valor de CO<sub>2</sub> almacenado por cada una.

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

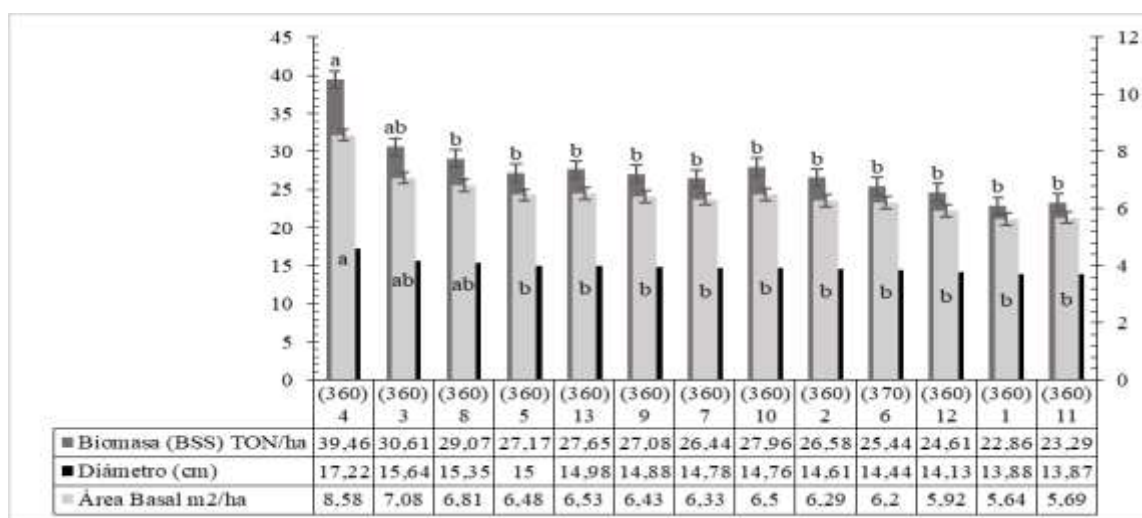
### 4.1 SUPERFICIE Y PARCELAS MUESTREADAS

Se muestrearon en total 39 parcelas cubriendo una superficie de 3,75 hectáreas. Se registraron un total de 1349 árboles que corresponden a 480 de *Tabebuia donnell-smithii*, 400 de *Cordia alliodora* y 469 de *Cedrelinga Catenaeformis*.

### 4.2 BIOMASA

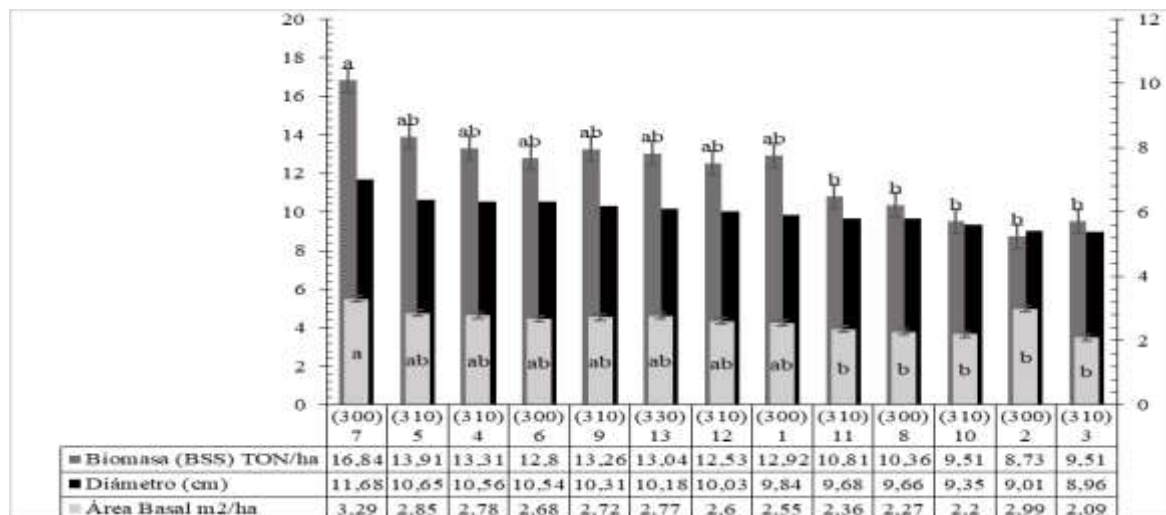
#### 4.2.1 Biomasa por parcela

Para la estimación de biomasa sobre el suelo (BSS) de *C. catenaeformis*, se calculó el área basal (AB) y se determinó la densidad de la madera. En la figura 4, se muestran los resultados del DAP, BSS, AB por parcela. El aporte BSS osciló entre  $(39.46 \pm 0.07 - 23.29 \pm 0.06)$  TON/ha<sup>-1</sup>, el mayor aporte en BSS lo obtuvo la parcela 4 con  $(39.46 \pm 0.07)$  TON/ha<sup>-1</sup> y menor la parcela 11 con  $(23.29 \pm 0.06)$  TON/ha<sup>-1</sup>. El área basal osciló entre  $(8.58 \pm 0.01 - 5.69 \pm 0.01)$  m<sup>2</sup>/ha, el mayor aporte en AB lo obtuvo la parcela 4 con  $(8.58 \pm 0.01)$  m<sup>2</sup>/ha y menor la parcela 11 con  $(5.69 \pm 0.01)$  m<sup>2</sup>/ha. La densidad de las parcelas fue 360 árboles /ha excepto para la parcela 6 con 370 árboles/ha. La BSS, presentó diferencias significativas entre parcelas. Estos resultados concuerdan con (Del Águila, 2014), 27 (56.93) TON/ha<sup>-1</sup>, 35 (222.26) TON/ha<sup>-1</sup>, 43 (301.50) TON/ha<sup>-1</sup> y Alegre et al. (2000) quienes afirman que, el aporte de biomasa en ecosistemas depende de la edad, diámetro y altura de los árboles.



**Figura 4.** Diámetro (cm), Biomasa sobre el suelo (TON/ha<sup>-1</sup>), Área Basal (m<sup>2</sup>/ha) en *C. catenaeformis*  
**Leyenda:** Letras desiguales difieren significativamente a través de la prueba de comparación de medias de acuerdo con el ajuste de Tukey (P<0.05).

Para la estimación de biomasa sobre el suelo (BSS) de *C. alliodora*, se calculó área basal (AB) y se determinó la densidad de la madera. En la figura 5, se muestran los resultados del DAP, BSS, AB por parcela de *C. alliodora*. El aporte de **BSS** osciló entre  $(16.84 \pm 0.04 - 9.51 \pm 0.04)$  TON/ha<sup>-1</sup>, el mayor aporte en BSS lo obtuvo la parcela 7 con  $(16.84 \pm 0.04)$  TON/ha<sup>-1</sup> y menor la parcela 3 con  $(9.51 \pm 0.04)$  TON/ha<sup>-1</sup>. El área basal osciló entre  $(3.29 \pm 0.01 - 2.09 \pm 0.01)$  m<sup>2</sup>/ha, el mayor aporte en **AB** lo obtuvo la parcela 7 con  $(3.29 \pm 0.01)$  m<sup>2</sup>/ha, el menor aporte la parcela 3 con  $(2.09 \pm 0.01)$  m<sup>2</sup>/ha. La densidad de las parcelas presentó 300 árboles/ha (P7, P6, P1, P8, P2), reportó 310 árboles/hectárea (P5, P4, P9, P12, P11, P10, P3) y por ultimo 330 árboles/ha (P13). En BSS y AB, presentó diferencias significativas entre parcelas a, b. Estos resultados concuerdan con estudios realizados por Valdivieso (19), Suárez (20), 12 años  $(361.4198)$  TON/ha<sup>-1</sup>, demostró que el crecimiento del laurel es superior en sistemas agroforestales respecto a plantaciones puras, así como cuando se encuentra plantado a bajas densidades. Este hecho se explica a que los árboles al encontrarse asociados con cultivos de yuca, plátano y cacao, se benefician de la fertilización, disponibilidad de agua y manejo del cultivo. Además, se disminuye la competencia la por luz y nutrientes del suelo al reducir el número de árboles por unidad de área, lo cual favorece su crecimiento.



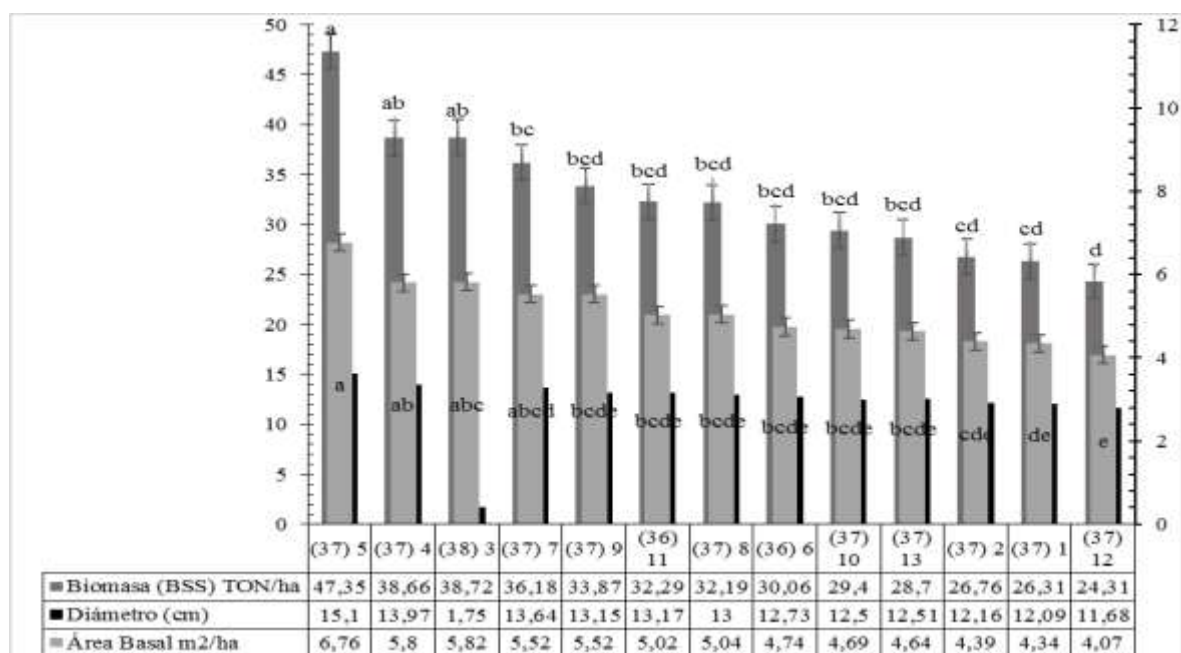
**Figura 5.** Diámetro (cm), Biomasa sobre el suelo (TON/ha<sup>-1</sup>), Área Basal (m<sup>2</sup>/ha) en *C. alliodora*

**Leyenda:** Letras desiguales difieren significativamente a través de la prueba de comparación de medias de acuerdo con el ajuste de Tukey ( $P < 0.05$ ).

Para la estimación de biomasa sobre el suelo (BSS) de *T. donnell-smithii*, se calculó el área basal (AB) y se determinó la densidad de la madera. En la figura 6, se muestran los resultados del DAP, BSS, AB por parcela. El aporte de **BSS** osciló entre  $(47,35 \pm 0.08 - 24.31 \pm 0.05)$  TON/ha<sup>-1</sup>, el mayor aporte en BSS lo obtuvo la parcela 5 con  $(47.35 \pm 0.08)$  TON/ha<sup>-1</sup> y menor la parcela 12 con  $(24.31 \pm 0.05)$  TON/ha<sup>-1</sup>. El área basal osciló entre  $(6.76 \pm 0.01 - 4.07 \pm 0.01)$  m<sup>2</sup>/ha, el mayor aporte en **AB** lo obtuvo



la parcela 5 con  $(6.76 \pm 0.01) \text{ m}^2/\text{ha}$ , el menor aporte fue la parcela 12  $(4.07 \pm 0.01) \text{ m}^2/\text{ha}$ . La densidad de las parcelas presentó 370 n° de árboles/ha (P5, P4, P7, P9, P8, P10, P13, P2, P1, P12), 360 n° de árboles/ha (P11, P6), y por último para 380 árboles/ha (P3). La BSS, presentó diferencias significativas entre parcelas. Para la siguiente especie no se encontró información suficiente.



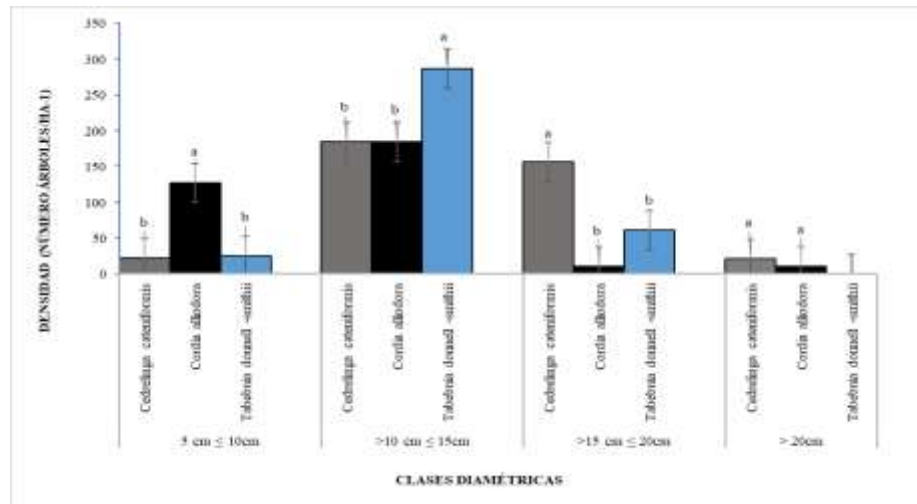
**Figura 6.** Diámetro (cm), Biomasa sobre el suelo ( $\text{TON}/\text{ha}^{-1}$ ), Área Basal ( $\text{m}^2/\text{ha}$ ) en *T. donnell-smithii*  
**Leyenda:** Letras desiguales difieren significativamente a través de la prueba de comparación de medias de acuerdo con el ajuste de Tukey ( $P < 0.05$ ).

#### 4.2.2 Densidad por clase diamétrica

En la tabla 4 se entregan los resultados de la densidad por cada especie de acuerdo a cada clase diamétrica. Tabla 3 y Figura 7.

**Tabla 3.** Densidad total por clases diamétricas en las especies

Clases diamétrica	<i>Cedrelinga Catenaeformis</i>	<i>Cordia alliodora</i>	<i>Tabebuia donnell-smithii</i>
5cm - 10cm	11	165	30
10cm - 15cm	240	232	373
15cm- 20cm	203	2	77
> 20cm	15	1	0
	469	400	480



**Figura 7.** Promedios de la Densidad por parcela y clases diamétricas

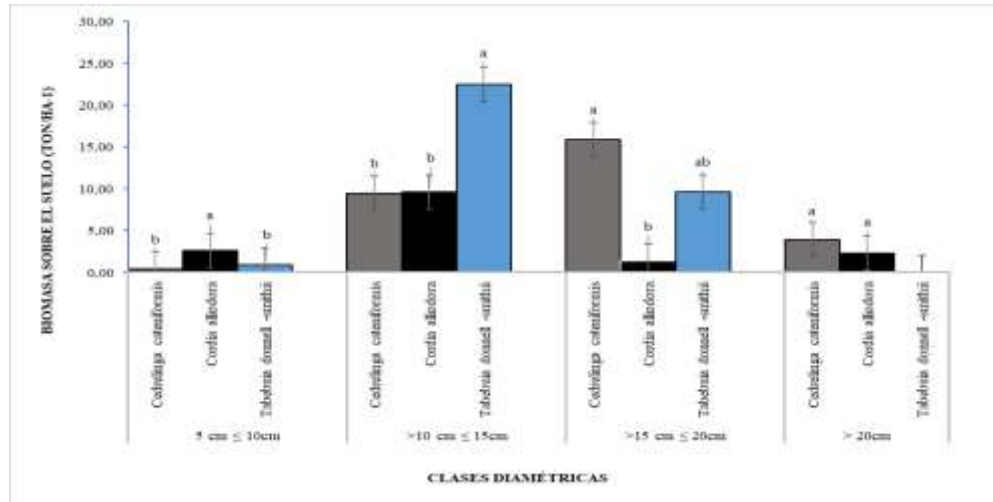
**Leyenda:** Letras desiguales difieren significativamente a través de la prueba de comparación de medias de acuerdo con el ajuste de Tukey ( $P < 0.05$ ).

En la figura 7, se muestran los resultados de la densidad por clase diamétrica de cada especie. La densidad por clase diamétrica presentó diferencias significativas excepto para la clase diamétrica ( $>20$  cm) que no presenta diferencia significativa, pues sus valores son bajos. La especie *C. alliodora* es la que mayor aporta a la densidad en la clase diamétrica de (5 cm - 10 cm) con un promedio de 126,92 árboles/ha<sup>-1</sup>, *T. donnell-smithii* de (10cm–15cm) es la que mayor aporato con 286,92 árboles/ha<sup>-1</sup>, y finalmente *C. catenaeformis* aportó mayor densidad entre (15cm–20cm y  $>20$ cm) con un promedio de 156.15cm y 21.43cm. Según (Sevilla, 2014), la densidad va a condicionar muchos aspectos de la masa creada en cuanto: a la edad de cierre de dosel, comienzo de la muerte de las ramas inferiores, características de la ocupación del suelo por parte de los sistemas radicales, grosor de las ramas, profundidad de la copa viva, crecimiento unitario, rectitud del fuste, poda natural, etc. Todas estas cuestiones están relacionadas con la forma de ocupación del espacio vital por parte de las plantas que se introducen con la repoblación y por competencia por los recursos disponibles en dicho espacio.

#### 4.2.3 Biomasa por clase diamétrica

En la figura 8, se muestran los resultados de la biomasa por clase diamétrica de cada especie. La biomasa por clase diamétrica presentó diferencias significativas excepto la clase diamétrica ( $>20$ cm) que no presenta diferencia significativa, los dos valores tienen (a). La especie *C. alliodora*, es la que presentó mayor aporte a densidad en clase diamétrica de (5cm-10cm) con un promedio de 2,57 TON/ha<sup>-1</sup>. En el rango de (10cm-15cm) *T. donnell-smithii* es el que más aporta a la biomasa con un promedio de 22.47 TON/ha<sup>-1</sup>, y finalmente en el rango de (15cm-20cm y  $>20$ cm) *C. catenaeformis* aporta mayor biomasa con un promedio de 15.89 TON/ha<sup>-1</sup> y 3.89 TON/ha<sup>-1</sup>. Según (Ruiz & Bonilla,

2015) la biomasa depende de la especie arbórea, las condiciones ambientales, la densidad de la plantación, el tipo de plantación y la edad de los individuos, entre otros aspectos.

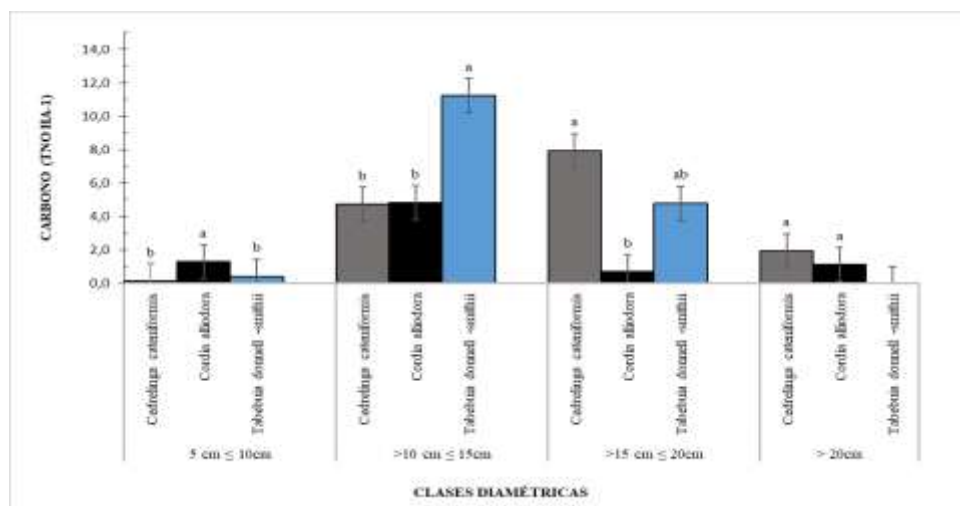


**Figura 8.** Biomasa por clase diamétrica de las especies

**Leyenda:** Letras desiguales difieren significativamente a través de la prueba de comparación de medias de acuerdo con el ajuste de Tukey ( $P < 0.05$ ).

### 4.3 ALMACENAMIENTO DE CARBONO POR CLASE DIAMÉTRICA

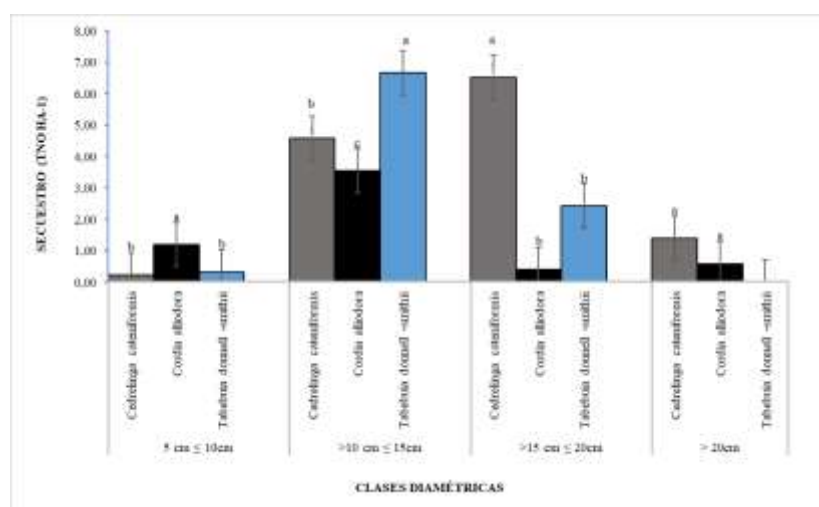
En la figura 9. Se muestran los resultados de clases diamétricas de las tres diferentes especies. En la especie *C. alliodora*. obtuvo mayor almacenamiento en el rango de ( $>5 \text{ cm} \leq 10 \text{ cm}$ ) con  $1,29 \text{ TONC/ha}^{-1}$ , en el rango de ( $>10 \text{ cm} \leq 15 \text{ cm}$ ) *T. donnell-smithii* obtuvo un valor promedio de  $11,23 \text{ TONC/ha}^{-1}$ , en el rango de ( $>15 \text{ cm} \leq 20 \text{ cm}$ ), la especie *C. catenaeformis* obtuvo el valor promedio de  $7,94 \text{ TONC/ha}^{-1}$  y finalmente en el rango de ( $>20 \text{ cm}$ ) la especie *C. catenaeformis* obtuvo el valor promedio de  $1,95 \text{ TONC/ha}^{-1}$ . Las clases diamétricas son un factor importante para resaltar la dominancia de una especie respecto a otras.



**Figura 9.** Almacenamiento de Carbono por clases diamétricas en las especies  
**Leyenda:** Letras desiguales difieren significativamente a través de la prueba de comparación de medias de acuerdo con el ajuste de Tukey (P<0.05).

#### 4.4 SECUESTRO DE CO<sub>2</sub> POR CLASE DIAMÉTRICA

En la figura 10, se muestran los resultados de secuestro de CO<sub>2</sub> en base a las clases diamétricas en las tres diferentes especies; el que mayor aporte fue la especie de *T. donnell-simithii* en el rango de (>10 cm≤15cm), con un valor promedio de 6.66 TON CO<sub>2</sub>/ha<sup>-1</sup> seguido de la especie *C. catenaeformis* en un rango de (>15 cm≤20), con un valor promedio de 6.51 TON CO<sub>2</sub>/ha<sup>-1</sup>. Luego en el rango de (>20cm), la especie *C. catenaeformis*, obtuvo un valor promedio de 1,39 TON CO<sub>2</sub>/ha<sup>-1</sup>. Según Gayoso & Guerra (2002), destacan la importancia de contar la cuantificación de carbono con base en clases diamétricas en información diferenciada por especie y componentes del árbol en plantaciones forestales.



**Figura 10.** Secuestro de CO<sub>2</sub> por clases diamétricas de las especies

**Leyenda:** Letras desiguales difieren significativamente a través de la prueba de comparación de medias de acuerdo con el ajuste de Tukey ( $P < 0.05$ ).

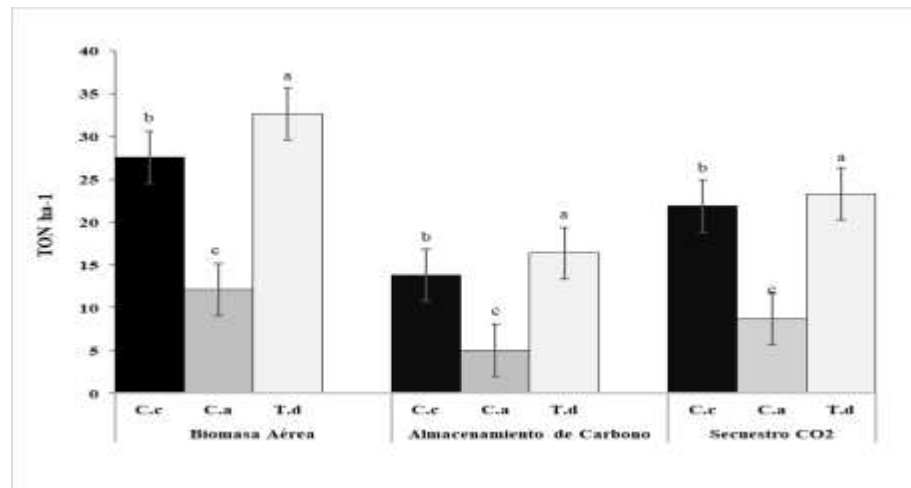
#### **4.5 BIOMASA, ALMACENAMIENTO Y SECUESTRO DE CO<sub>2</sub> DE *C. catenaeformis*, *C. alliodora*, *T. donnell-smithii***

Para la valoración del almacenamiento de carbono y secuestro de CO<sub>2</sub>, en las tres especies se tomaron en cuenta los resultados de la biomasa para su cuantificación. En la figura 11, se muestran los resultados en las plantaciones de las tres especies.

El aporte de almacenamiento de carbono para *C. catenaeformis* fue entre ( $14.29 \pm 0.1 - 2.82 \pm 0.1$ ) TON/ha<sup>-1</sup> y para el secuestro de CO<sub>2</sub> fue entre ( $25.73 \pm 0.4 - 10.33 \pm 0.4$ ) TON/ha<sup>-1</sup>. El almacenamiento de carbono según Del Águila (2014), las plantaciones de 27 años (35.30) TONC/ha<sup>-1</sup>, 35 años (137.80) TONC/ha<sup>-1</sup>, 43 años (186.93) TONC/ha<sup>-1</sup>, en comparación al presente trabajo de investigación se obtuvo un total de 13.78 TONC/ha<sup>-1</sup>, y Vogt et al., (1996); Scott et al. (2004) afirman que la cantidad de carbono almacenado depende ampliamente del sitio de establecimiento de la plantación, edad y factores ambientales. Por su parte Vega & Martiarena (2010), quienes afirman que las plantaciones forestales a mayor edad, mayor almacenamiento de carbono tendrán. El secuestro de CO<sub>2</sub> según Del Águila (2014), 27 años (77.65) TON/ha<sup>2</sup>, 35 años (303.14) TON/ha<sup>-1</sup>, 43 años (685.33) TON CO<sub>2</sub>/ha<sup>-1</sup>, en comparación al presente trabajo se obtuvo 21.91 TONCO<sub>2</sub>/ha<sup>-1</sup>. Según De Petre (2010), menciona que el almacenamiento y secuestro de CO<sub>2</sub> son directamente proporcionales a la edad de la plantación.

El aporte del almacenamiento de carbono de *C. alliodora* fue entre ( $6.65 \pm 0.04 - 1.00 \pm 0.04$ ) TON/ha<sup>-1</sup> y para el secuestro de CO<sub>2</sub> fue entre ( $10.03 \pm 0.2 - 3.64 \pm 0.2$ ) TON CO<sub>2</sub>/ha<sup>-1</sup>. La plantación de *C. alliodora* almacenó 5.02 TON C/ha<sup>-1</sup> a los 3 años de edad, lo cual es mayor a lo reportado por Hummer (2000), quién reportó 3,9 TON C/ha<sup>-1</sup> en plantaciones jóvenes en el norte de Costa Rica, esto evidencia que para esta especie la mayor tasa de fijación de Carbono se da en su etapa de madurez. Por su parte Castellano et al., (2013) consideran que los valores de almacenamiento de C varían según sea el tipo de establecimiento vegetal ya sean sistemas forestales o agroforestales y a esto se suman las condiciones edafológicas dentro de cada uno de estos sistemas, las que inciden considerablemente en dichos valores. Según Valdivieso (2003). El secuestro de CO<sub>2</sub> en *C. alliodora* a los 12 años, se obtuvo el mayor promedio con 14.97 TON CO<sub>2</sub>/ha<sup>-1</sup> en comparación al presente estudio con 8.67 TON CO<sub>2</sub>/ha<sup>-1</sup>, esto se da que el secuestro de carbono difiere entre las especies por cuanto al carbono almacenado está en relación directa con la cantidad de biomasa de las plantaciones.

El aporte del almacenamiento de carbono de *T. donnell-smithii* fue entre  $(17.38 \pm 0.1 - 2.04 \pm 0.1)$  TON C/ha<sup>-1</sup>, por lo que almacena un total de 16.34 TON C/ha<sup>-1</sup> y para el secuestro de CO<sub>2</sub> fue entre  $(26.40 \pm 0.4 - 7.47 \pm 0.4)$  TON CO<sub>2</sub>/ha<sup>-1</sup>, con un total de 23.31 TON CO<sub>2</sub>/ha<sup>-1</sup>.



**Figura 11.** Biomasa, Almacenamiento de carbono y Secuestro de CO<sub>2</sub> de *C. catenaeformis* (C.c), *C. alliodora* (C.a) y *T. donnell-smithii* (T.d)

**Leyenda:** Letras desiguales difieren significativamente a través de la prueba de comparación de medias de acuerdo con el ajuste de Tukey ( $P < 0.05$ ).

Por su parte (Fonseca, 2009) afirma que la cuantificación de la biomasa en ecosistemas forestales es necesaria también para las estimaciones de CO<sub>2</sub>, lo cual actualmente es un tema relevante por sus implicaciones en relación al cambio climático.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- ❖ Se muestrearon un total de 39 parcelas, encontrando 1349 individuos, de los que para *C. catenaeformis* fueron 469, para *C. alliodora* 400 y para *T. donnell-smithii* 480.
- ❖ La especie con mayor Biomasa aérea es *T. donnell-smithii* con 32,67 TON/ha<sup>-1</sup>, seguido por *C. catenaeformis* con 27,55 TON/ha<sup>-1</sup> y finalmente *C. alliodora* con 12,13 TON/ha<sup>-1</sup>.
- ❖ La especie con mayor almacenamiento de C es *T. donnell-smithii* con 16,34 TON C/ha<sup>-1</sup>, seguido de *C. catenaeformis* con 5,02 TON C/ha<sup>-1</sup> y en menor cantidad *C. alliodora* con 5,02 TON C/ha<sup>-1</sup>.
- ❖ La especie con mayor secuestro de CO<sub>2</sub>, es *T. donnell-smithii* con 23,31 TON CO<sub>2</sub>/ha<sup>-1</sup>, seguido de *C. catenaeformis* con 21,91 TON CO<sub>2</sub>/ha<sup>-1</sup> y finalmente con menor cantidad *C. alliodora* con 8,67 TON CO<sub>2</sub>/ha<sup>-1</sup>.
- ❖ De las tres especies *T. donnell-smithii*, fue la que mayores valores obtuvo para Biomasa, Almacenamiento de carbono y secuestro de Carbono seguida de *C. catenaeformis* y finalmente, *C. alliodora*
- ❖ Las plantaciones forestales brindan importantes servicios ecosistémicos como la protección del suelo, el mantenimiento de las cuencas hídricas, la conservación de la biodiversidad y presentan una opción para mitigar las emisiones de cambio climático, ya que tienen la capacidad de almacenar y fijar el carbono emitido a la atmósfera.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- ❖ Realizar estudios en bosques primarios con especies nativas de la Amazonía para determinar la cuantificación del carbono y el aporte al secuestro de CO<sub>2</sub> de estos bosques.
- ❖ Realizar inventarios de otras especies usadas en sistemas silviculturales y estimar los contenidos de biomasa a partir de los modelos presentados en la presente investigación.
- ❖ Continuar con el proceso de toma de datos como parte de la investigación y agregar variables ambientales de interés en otras regiones de la Amazonía.
- ❖ Se recomienda que las intensidades de muestro abarquen mayor superficie para contar con más información, que permita realizar comparaciones con otros sitios de plantaciones.
- ❖ Que los estudiantes de la UEA realicen prácticas e investigaciones en este tema en el sitio de esta investigación y en otros lugares como el CIPCA como parte de su formación profesional.



## CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, & Quednow. (2001). *Un método para la medición del carbono almacenado en la parte aérea de sistemas con vegetación natural e inducida en terrenos de Ladera de México*. México: INIFAP.
- Aguirre, Cifuentes, & Cadena. (2014). *CRECIMIENTO DE *Tabebuia donnell-smithii* Rose INOCULADA CON HONGOS MICORRÍZICOS Y *Azospirillum brasilense**. Mexico: Facultad de Ciencias Agrícolas.
- Alatorre. (1995). *Bosques y Almacenamiento de Carbono*. España: United States department of Agriculture.
- Alegre. (2008). *Manejo de sistemas agroforestales para la recuperación de los suelos degradados de la Amazonía y generación de servicios medio ambientales*. Sexto congreso nacional y cuarto internacional de la ciencia del suelo.
- Arévalo, C. (2015). *Medición de Carbono del estrato arbóreo en Tinajillas- Limón Indanza*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana de Cuenca.
- Bertzky. (2010). *Carbono, biodiversidad y servicios ecosistémicos: exploración cobeneficios*. Quito-Ecuador.
- Brown, S. (1997). Los bosques y el cambio climático: el papel de los terrenos forestales como sumideros de carbono. US Environmental Protection Agency, National Health and Environmental Effects Research Laboratory, Western Ecology Division.
- Carvajal. (2009). *Investigación sobre la absorción del CO2 por los cultivos más representativos*. Murcia: LESSCO2.
- Carvajal, Mota, & Iglesias. (2010). *Investigación sobre la absorción del CO2 por los cultivos más representativos de la región de Murcia*. Murcia: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Chave, J., C, A., S, B., M.A, C., Chambers, J., Eamus, D. T., & Yamakura, T. (2005). *Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests*. Oecologia.
- CONAFOR. (2011). *Servicios Ambientales y Cambio Climático*. Oaxaca.
- Cuberos, & Rojas. (1999). *Fijación de Carbono en plantaciones de melina, teca y pochoteen los cantones de Hojancha y Nycoya, Costa Rica*. Costa Rica: Universidad Nacional Escuela de Ciencias Ambientales.
- Del Águila. (2014). *Secuestro de CO2 y almacenamiento de carbono en plantaciones de *Cedrelinga catenaeformis* Duke "Tornillo" en tres edades diferentes en el CIEFOR-Puerto Almendra, Rio Nanay, Iquitos-Perú*. Iquitos - Perú: Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.
- FAO. (2011). *Situación de los bosques del mundo: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8427/1/UPS-CT004932.pdf>
- FAO. (2015). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Quito.
- Fischer, & Trujillo. (1999). *Fijación de carbono en plantaciones forestales*. Costa Rica: Seminario Internacional e intensificación de la ganadería Centro América; beneficios económicos y ambientales.
- Gamarra. (2001). *Estimación del contenido de carbono en plantaciones de *eucaliptus globulus* Labill en Junin-Perú*. Perú: Simposio internacional de medición y captura de carbono.

- Gutiérrez, F. (septiembre de 2014). *Zonas de deforestación neta cero*.
- Higuchi, & Carbalho. (1994). *Contenido de fitomasa y carbono de especies arbóreas Amazónicas*. Rio de Janeiro: Actas del seminario "Emisión de CO2 x secuestro: una nueva oportunidad de negocio para Brasil.
- IPCC. (2003). *Uso de la Tierra, cambio de uso de la Tierra y Silvicultura*.
- MAE. (2011). *Aprovechamiento de recursos forestales en el Ecuador*. Quito: PD 406/06.
- MAGAP. (2013). Programa de Incentivos para la Reforestación con Fines Comerciales. Guayaquil, Ecuador.
- MAGAP. (marzo de 2014). *Ecuador Forestal*. Obtenido de Programas de Incentivos para la reforestación con fines comerciales: <http://ecuadorforestal.org/wp-content/uploads/2014/06/SPF-FOLLETO-PIF-2014-050614.pdf>
- MDL. (2008). *Guía para el diseño de proyectos MDL forestales y de bioenergía*. Costa Rica: Masterlitho S.A.
- Medina. (2006). *Indicadores de impacto de los sistemas forestales y agroforestales*. POSAF II.
- Mendoza; Chalan; Ayala; Mendoza. (2015). *Especies Forestales más aprovechados en la región Sur del Ecuador*. Loja: EDILOJA Cia. Ltda.
- Ordoñez, J., & Maser. (2010). *Captura de carbono ante el cambio climático*. México: Red Instituto de Ecología A. C.
- Pardos. (2010). *Los Ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8427/1/UPS-CT004932.pdf>
- Pardos, J. A. (2010). *Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono*. Madrid: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria.
- PDOT. (2014). *Plan de Desarrollo de Ordenamiento Territorial (2014-2019)*. Obtenido de <https://odsterritorioecuador.ec/wp-content/uploads/2019/04/PDOT-CANTON-ARCHIDONA-2014-2019.pdf>
- Pérez G. (15 de octubre de 2019). *Ciclo del carbono*. Obtenido de <https://www.ciclodelcarbono.com/>
- Pérez, Fernández, & Sayer. (10 de mayo de 2007). Los servicios ambientales de los bosques. *Revista científica y técnica de Ecología y Medio Ambiente*, págs. 1-11.
- Pesantez. (2015). *Estimación del contenido de carbono en biomasa aérea de una plantación de Cedro Rosado, en la parroquia Rio blanco, cantón Morona*. Morona: Universidad Nacional de Loja.
- Petre, A., Ola, U., & Ali, S. (junio de 2006). *Proyectos de Investigación Aplicada a los Recursos Forestales Nativos (PIARFON)*. Obtenido de <http://infobosques.com/portal/wp-content/uploads/2016/02/Captura-de-carbono.pdf>
- Petre; Ola; Ali. (2 de junio de 2016). *Proyectos de Investigación Aplicada a los Recursos Forestales Nativos (PIARFON)*. Obtenido de <http://infobosques.com/portal/wp-content/uploads/2016/02/Captura-de-carbono-pdf>
- Petre; Ola; Ali. (2 de junio de 2016). *Proyectos de Investigación Aplicada los Recursos Forestales Nativos (PIARFON)*. Obtenido de <http://infobosque.com/portal/wp-content/uploads/2016/02/Captura-de-carbono.pdf>

- Rondeux, J. (2010). *Medición de árboles y masas forestales*.
- Rosas A. (2011). *Determinación de la cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea en el suelo en plantaciones de Teca*. Quinindé: Universidad Técnica de Quevedo.
- Ruiz; Bonilla. (2014). *La retención del carbono en plantaciones forestales*. Cuba: Universidad de Pinar del Rio.
- Ruiz. (2002). *Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica en Matiguas Nicaragua*. Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Salazar, C., Delegado, C., & Cando, L. (2017). Acumulación del Carbono del Estrato de Bosque Natural Tinajillas-Limón Indanza, Ecuador. *La granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 1-13.
- Santibáñez. (2014). *Captura y almacenamiento de carbono para mitigar el cambio climático: Modelo de optimización aplicado a Brasil*. Brasil: Contam. ambie.
- Saugier, & Pontailier. (2006). El ciclo global del carbono y sus consecuencias en la fotosíntesis. En *Ecología en Ecuador* (págs. 71-85).
- Schlegel, B. (2001). *Estimación de la biomasa en bosques del tipo forestal siempreverde*. Chile: Universidad Austral de Chile.
- Segura. (1997). *Almacenamiento y fijación de carbono en Quercus costarricenses en un bosque de altura en la cordillera de Talamanca*. Costa Rica: Universidad de Heredia.
- Segura; Andrade. (2008). *Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes*. Costa Rica: Agroforestería en las Américas N46.
- Sierra. (1999). *Propuesta Preliminar de un Sistema de Clasificación de Vegetación para el Ecuador Continental*. Quito-Ecuador.
- Spitler. (1995). *Guía técnica para el inventario rápido de bosques secundarios en la zona norte de Costa Rica*. Costa Rica: COSEFORMA.
- Torres et al., 2. (2013). *Estudio de la composición florística y estructural del bosque primario del (CIPCA) de la Universidad Estatal Amazónica y propuesta de manejo de germoplasma de árboles semilleros de valor comercial en la Amazonía ecuatoriana*.
- Torres, & Guevarra. (2002). *El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico*. México: Gaceta ecológica.
- Vallejo. (2009). *Cambio climático, bosques y uso de la Tierra*. Buenos Aires Argentina: Curso formulación de proyectos MDL Forestal y Bioenergía.
- Vásquez. (2016). *Almacenamiento de carbono de la biomasa aérea de un bosque de colina baja de la cuenca del río Oroza, Loreto, Perú*. Iquitos-Perú: Facultad de ciencias forestales.
- Vásquez. (2019). *Almacenamiento de Carbono de la Biomasa Aérea de un bosque de Colina Baja de la Cuenca del río Oroz, Loreto, Perú*. Obtenido de [http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3814/Werner\\_Tesis\\_Titulo\\_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3814/Werner_Tesis_Titulo_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Vásquez; González. (2015). Modelamiento del crecimiento del Tornillo *Cedrelinga catenaeformis* DUCKE en plantaciones en Jenaro Herrera, Departamento de Loreto, Perú. *Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana*, 24 (1), 22.

Vega. (2016). *Estudio en el bosque de colina baja en la cuenca del río Napo*.

Walker, Baccini, & Bausch. (2011). *Guía de campo para la estimación de Biomasa y carbono forestal*. USA: Centro de Investigación de Woods Hole.

## CAPITULO VII. ANEXOS

### Anexo 1. Datos de la especie *C. catenaeformis*

Nº ÁRBOL	DAP (cm)	H (m)	Nº ÁRBOL	DAP (cm)	H (m)	Nº ÁRBOL	DAP (cm)	H (m)
1	44	7,25	41	46	8,2	81	60	6,8
2	50	7	42	42	7,4	82	49	8
3	37	6,7	43	45	7,2	83	42	5,2
4	49	8,2	44	56	7,4	84	56	6,4
5	40	7	45	53	7,8	85	36	7
6	49	8,5	46	43	7,4	86	55	6
7	36	5,3	47	36	5,2	87	49	6,2
8	55	7,5	48	38	5,8	88	61	7,1
9	36	5,25	49	53	7,9	89	58	7,2
10	32	5,74	50	53	6,8	90	55	7,4
11	56	3,2	51	52	6,4	91	48	7,1
12	44	8	52	33	8,2	92	50	7,3
13	52	7,5	53	33	7,4	93	46	6,4
14	48	6	54	36	7,3	94	42	7
15	43	6	55	43	8	95	45	7,1
16	50	5,5	56	54	8,3	96	39	7,3
17	32	5	57	33	6,7	97	41	7
18	60	3	58	37	7,2	98	42	7,5
19	37	6,2	59	31	7,1	99	53	7,8
20	42	7,5	60	39	5,2	100	42	6,1
21	46	9	61	25	4,5	...	...	...
22	46	7,5	62	47	6	...	...	...
23	50	7	63	51	6,8	...	...	...
24	55	7,3	64	59	5,8	...	...	...
25	50	5,5	65	41	6,8	...	...	...
26	42	5	66	34	6,6	...	...	...
27	40	5,5	67	59	5,9	...	...	...
28	43	5,2	68	60	5,8	...	...	...
29	60	5,1	69	45	4,9	...	...	...
30	43	4,8	70	56	5,2	...	.....	...
31	32	4,7	71	58	6,4	...	.....	...
32	33	4,8	72	59	5,7	...	.....	.....
33	36	5,5	73	47	6,5	...	...	...
34	35	4,4	74	51	6,5	...	...	...
35	34	3,9	75	49	6,7	...	...	...
36	33	5,6	76	60	7,9	...	...	...
37	55	7	77	55	6,8	117	44	7,4
38	47	7,5	78	44	6,5	118	54	7,5
39	56	6,4	79	64	7,2	119	64	6,9
40	44	7,8	80	41	6,2	120	51	7

## Anexo 2. Datos de campo de la especie *C. alliodora*

N° ÁRBOL	DAP (cm)	H (m)
1	29	3
2	40	4,5
3	18	3
4	22	3,2
5	29	3,5
6	18	2,9
7	44	4,2
8	24	3,3
9	36	4,2
10	21	3,5
11	18	3,3
12	51	4,9
13	21	3
14	18	2,9
15	45	3,8
16	38	4,2
17	63	4,7
18	34	4,2
19	27	4,4
20	29	4,5
21	33	4,7
22	29	4,2
23	44	4,8
24	24	4,2
25	33	4,1
26	21	3,8
27	33	4,4
28	28	4,1
29	28	4,2
30	29	4,5
31	31	4,6
32	34	3,8
33	42	3,7
34	27	3,6
35	20	3,4
36	29	3,6
37	30	3,4
38	29	4,4
39	29	3,8
40	29	4

N° ÁRBOL	DAP (cm)	H (m)
41	38	3,5
42	34	4,4
43	34	3,8
44	28	3,2
45	27	3,1
46	30	4,2
47	32	4,5
48	21	5,2
49	34	5,3
50	32	24,1
51	21	4,8
52	22	4,6
53	23	4,1
54	20	4,2
55	21	4,3
56	23	4,2
57	24	3,9
58	34	3,4
59	28	3,8
60	23	3,5
61	21	3,2
62	21	3,4
63	27	3,5
64	38	4,5
65	33	4,9
66	34	5,1
67	31	5,2
68	30	5,3
69	19	5,4
70	21	5,5
71	22	4,1
72	24	4,2
73	26	4,4
74	28	4,5
75	21	5,2
76	22	5,2
77	32	4,1
78	35	4,4
79	34	4,5
80	45	4,4

N° ÁRBOL	DAP (cm)	H (m)
81	43	5,1
82	43	4,4
83	33	4,3
84	23	4,2
85	22	4,6
86	34	4,7
87	21	3,9
88	20	3,6
89	18	3,9
90	25	3,7
91	27	3,8
92	43	5,1
93	34	5,2
94	33	5,2
95	37	5,5
96	36	5,6
97	34	5,3
98	35	5,4
99	34	5,3
100	38	5,5
...	...	...
...	...	...
...	...	...
....	...	...
....	...	...
....	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
117	22	3,6
118	28	3,9
119	34	4,8
120	33	3,6

### Anexo 3. Datos de campo de la especie *T. donnell-smithii*

Nº ÁRBOL	DAP (cm)	H (m)
1	34	7,7
2	33	8,9
3	32	6,9
4	45	7
5	33	6,8
6	40	5,5
7	47	5,4
8	44	6,9
9	36	6
10	43	5,9
11	44	8
12	30	6,6
13	34	8,8
14	34	3,8
15	46	4,4
16	42	7,5
17	29	6,3
18	46	7,1
19	43	6,9
20	54	7,3
21	42	6,5
22	44	6,9
23	34	6,5
24	33	6,8
25	34	6,6
26	34	7,5
27	36	4,6
28	38	5,8
29	35	5,3
30	37	6,4
31	32	5,2
32	35	6,1
33	35	6,1
34	35	6,3
35	39	6,4
36	37	6,2
37	36	4,9
38	42	7,6
39	34	7,8
40	37	6,8

Nº ÁRBOL	DAP (cm)	H (m)
41	34	6
42	33	4,9
43	34	7,1
44	32	6,8
45	31	5,9
46	31	6,2
47	31	7,5
48	36	7,3
49	39	7,7
50	37	7,9
51	35	6
52	40	5,8
53	33	6,4
54	45	9
55	45	7,6
56	44	8,4
57	41	7
58	55	7
59	45	8
60	34	8,6
61	36	7,4
62	39	6,8
63	44	7,2
64	41	7
65	42	7,6
66	23	8,5
67	45	6,2
68	42	6,8
69	41	6,7
70	44	6,4
71	38	6,6
72	39	5,7
73	35	4,8
74	36	5,3
75	33	5,8
76	38	6,8
77	35	7,7
78	44	7,7
79	46	7,8
80	46	7,6

Nº ÁRBOL	DAP (cm)	H (m)
81	43	6,6
82	44	7,2
83	43	7
84	58	6,4
85	44	7
86	51	6,6
87	43	7,3
88	36	4
89	45	6,8
90	54	7,2
91	43	7,3
92	56	5,3
93	45	4,6
94	54	4,8
95	56	4,3
96	44	4,1
97	46	5,1
98	43	5,5
99	44	5,9
100	34	6,2
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
117	33	4,5
118	44	4,4
119	45	4,3
120	43	5,1

**Anexo 4.** *Cedrelinga catenaeformis*, *Cordia alliodora*, *Tabebuia donnell-smithii*

***Cedrelinga catenaeformis***

Parcelas	Densidad	DAP	BSS (Ton/ha)	AB (m2/ha)
4	36	17.22 ± 0.44 a	39,46 ± 0.07 a	8,58 ± 0.01 a
3	36	15.64 ± 0.40 ab	30,61 ± 0.06 ab	7,08 ± 0.01 ab
8	36	15.35 ± 0.38 ab	29,07 ± 0.06 b	6,81 ± 0.01 ab
5	36	15.00 ± 0.35 b	27,17 ± 0.05 b	6,48 ± 0.01 b
13	36	14.98 ± 0.43 b	27,65 ± 0.06 b	6,53 ± 0.01 b
9	36	14.88 ± 0.42 b	27,08 ± 0.06 b	6,43 ± 0.01 b
7	36	14.78 ± 0.39 b	26,44 ± 0.05 b	6,33 ± 0.01 b
10	36	14.76 ± 0.59 b	27,96 ± 0.08 b	6,5 ± 0.01 b
2	36	14.61 ± 0.51 b	26,58 ± 0.06 b	6,29 ± 0,01 b
6	37	14.44 ± 0.37 b	25,44 ± 0.04 b	6,2 ± 0.01 b
12	36	14.13 ± 0.53 b	24,61 ± 0.06 b	5,92 0.01 b
1	36	13.88 ± 0.44 b	22,86 ± 0.05 b	5,64 ± 0.01 b
11	36	13.87 ± 0.50 b	23,29 ± 0.06 b	5,69 ± 0.01 b

***Cordia alliodora***

Parcelas	Densidad	DAP	BSS (Ton/ha)	AB (m2/ha)
7	30	11.68 ± 0.33 a	16,84 ± 0.04 a	3,29 ± 0.01 a
5	31	10.65 ± 0.35 ab	13,91 ± 0.05 ab	2,85 ± 0.01 ab
4	31	10.56 ± 0.30 ab	13,31 ± 0.03 ab	2,78 ± 0.01 ab
6	30	10.54 ± 0.30 ab	12,8 ± 0.03 ab	2,68 ± 0.01 ab
9	31	10.31 ± 0.43 ab	13,26 ± 0.04 ab	2,72 ± 0.01 ab
13	33	10.18 ± 0.32 ab	13,04 ± 0.03 ab	2,77 ± 0.01 ab
12	31	10.03 ± 0.45 ab	12,53 ± 0.05 ab	2,6 ± 0.01 ab
1	30	9.84 ± 0.62 b	12,92 ± 0.08 ab	2,55 ± 0.01 ab
11	31	9.68 ± 0.33 b	10,81 ± 0.03 b	2,36 ± 0.01 b
8	30	9.66 ± 0.33 b	10,36 ± 0.03 b	2,27 ± 0.01 b
10	31	9.35 ± 0.30 b	9,78 ± 0.02 b	2,2 ± 0.004 b
2	30	9.01 ± 0.33 b	8,73 ± 0.03 b	2,99 ± 0.01 b
3	31	8.96 ± 0.43 b	9,51 ± 0.04 b	2,09 ± 0.01 b



*Tabebuia donnell-smithii*

Parcelas	Densidad	DAP	BSS (Ton/ha)	AB (m2/ha)
5	37	15.10 ± 0.35 a	47,35 ± 0.08 a	6,76 ± 0.01 a
4	37	13.97 ± 0.44 ab	38,66 ± 0.07 ab	5,8 ± 0.01 ab
3	38	13.75 ± 0.40 abc	38,72 ± 0.07 ab	5,82 ± 0.01 abc
7	37	13.64 ± 0.39 abcd	36,18 ± 0.06 bc	5,52 ± 0.01 abcd
9	37	13.15 ± 0.42 bcde	33,87 ± 0.07 bcd	5,52 ± 0.01 bcde
11	36	13.17 ± 0.50 bcde	32,29 ± 0.06 bcd	5,02 ± 0.01 bcde
8	37	13.0 ± 0.38 bcde	32,19 ± 0.06 bcd	5,04 ± 0.01 bcde
6	36	12.73 ± 0.37 bcde	30,06 ± 0.07 bcd	4,74 ± 0.01 bcde
10	37	12.50 ± 0.59 bcde	29,4 ± 0.06 bcd	4,69 ± 0.01 bcde
13	37	12.51 ± 0.43 bcde	28,7 ± 0.05 bcd	4,64 ± 0.01 bcde
2	37	12.16 ± 0.51 cde	26,76 ± 0.05 cd	4,39 ± 0.01 cde
1	37	12.09 ± 0.44 de	26,31 ± 0.05cd	4,34 ± 0.01 de
12	37	11.68 ± 0.53 e	24,31 ± 0.05 d	4,07 ± 0.01 e

**Anexo 5.** Fotografías de la fase de campo del Proyecto de investigación



**Anexo 5. 1:** Materiales utilizados en el proyecto.



**Anexo 5.2:** Georreferenciación del área de estudio.



**Anexo 5.3:** Registro de datos.



**Anexo 5.4:** Delimitación de la hectárea.



**Anexo 5. 5:** Área de estudio de *C. catenaeformis*.



**Anexo 5.6:** Área de estudio de *T. donnell-smithii*



**Anexo 5.7:** Área de estudio de *C. alliodora*.



**Anexo 5.8:** Medición del DAP.



**Anexo 5.9:** Medición de la altura.



**Anexo 5.10:** Codificación de árboles.

