



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**AGRONÓMICA**  
**CARRERA DE AGRONOMÍA**  
**Asignatura: Desarrollo del Trabajo de Titulación**

**Informe de Avance del Trabajo de Integración Curricular**

**Modalidad**

**Proyecto de integración curricular bajo la modalidad de proyecto  
de investigación**

**TEMA**

Implicaciones económicas del secuestro de dióxido de carbono en  
plantaciones de *Ochroma pyramidale* (Cav. Ex Lam.) Urb. y su relación  
con la edad del cultivo.

**Autor(es)**

José Gregorio Alcívar Cedeño  
Wendy Estrella Mieles Macías

**Tutor(a)**

Ing. Carlos Alfredo Salas Macías

**Santa Ana, Manabí, Ecuador**

**Agosto 2021**

## Índice

1. Introducción.....	1
2. Objetivos.....	3
2.1. Objetivo general .....	3
2.2. Objetivos específicos .....	3
3. Marco teórico.....	4
3.1. Origen.....	4
3.2. Clasificación taxonómica .....	4
3.3. Descripción morfología.....	4
3.5. Alometría y carbono almacenado en biomasa aérea viva .....	5
3.6. Relaciones entre la edad de leñosas y el almacenamiento de carbono en su biomasa aérea viva.....	7
3.7. Costos de producción, rendimientos y beneficios económicos del cultivo	7
4. Metodología.....	9
4.1. Características de cada plantación .....	9
5. Resultados y discusión .....	12
5.2. Comparación de las relaciones entre la edad de la plantación y el stock de carbono en la biomasa aérea viva en plantaciones de <i>O. pyramidale</i> . .....	12
5.3. Estimación del valor económico del dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) almacenado en la biomasa aérea viva en plantaciones de <i>O. pyramidale</i> .....	13
6. Conclusiones.....	16
7. Recomendación .....	17
8. Referencias bibliográficas .....	18
9. Anexos.....	XXIX

## 1. Introducción

El cultivo de balsa (*Ochroma pyramidale* Cav. ex Lam.) Urb. conocida también como boya, boya balsa, ceibo o yana balsa (Ministerio del Ambiente de Ecuador [MAE] y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2014) pertenece a la familia Malvaceae (Honorato et al., 2015). Es considerada como una especie forestal y a su vez maderable debido a que posee una gran demanda en los mercados internacionales y además es cultivada de manera natural y por reforestación (González et al., 2010).

En este sentido, Francis (1991) menciona que la maduración económica y física de *O. pyramidale* tiene lugar a una edad temprana, por lo que añade que los árboles de 5 a 6 años de edad producen el mejor rendimiento y el mejor producto, en este contexto, Gonzales et al. (2018) señalan que debido a su rápido crecimiento esta especie permite tener una fuente importante de madera en zonas tropicales.

A este propósito, Mohammed et al. (2018) señalan que en las últimas décadas el cambio climático (CC) ha conducido a una serie de cambios en muchas especies de plantas y animales, por lo que Castillo et al. (2020) mencionan que se espera altere los regímenes de temperatura y precipitación en todo el mundo teniendo como consecuencia la disminución en la producción de alimentos a causa del aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, en este contexto Kim (2013) añade que los impactos negativos en el sector agrícola incluyen la reducción de la cantidad y calidad de los cultivos, reducción de los niveles de azúcar, mala coloración en frutas, aumento de malezas y plagas, aumento de la erosión del suelo y la fertilidad de este debido a la descomposición acelerada de sustancias orgánicas.

Por su parte Kweku et al. (2018) citan que el efecto invernadero es un proceso natural que tiene millones de años y a su vez desempeña un papel fundamental en la temperatura general de la Tierra; sin embargo, el aumento de la concentración de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero en la atmósfera han traído como consecuencia el calentamiento de las capas inferiores de la Tierra (Núñez et al., 2015).

Por consiguiente, Valderrama et al. (2019) mencionan que la concentración de CO<sub>2</sub> está principalmente vinculada a la actividad humana durante y después de la revolución industrial iniciada en 1850, siendo uno de los primeros gases descrito como una sustancia distinta del aire que se encuentra de forma natural en la atmósfera.

Entre los aliados importantes que contribuyen a la mitigación del cambio climático se mencionan a los bosques, naturales y plantados, debido a que tienen la capacidad de secuestrar grandes cantidades de carbono atmosférico y retenerlo en su biomasa (Whitehead, 2011).

Así mismo, el comercio de carbono se presenta como uno de los instrumentos económicos recomendados internacionalmente para la reducción de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos a la atmósfera, en donde se compran y venden emisiones reducidas o secuestradas de GEI recompensando monetariamente a las entidades que desarrollen este tipo actividades, con lo cual se pretende mitigar el cambio climático y a la vez contribuir al desarrollo sostenible (Rontard et al., 2020).

González et al. (2018) en su investigación cuyo objetivo fue conocer el aporte social, económico y ambiental que el cultivo de balsa provee, mencionan que el cultivo de balsa es rentable, genera empleo en el área rural, y a su vez acumula carbono en el suelo ( $58,07 \text{ t ha}^{-1}$ ), provee materia orgánica ( $107 \text{ t ha}^{-1}$ ), logrando brindar grandes fuentes de nutrientes para mantener la flora y fauna endémicas de la región.

Por otra parte Telles et al. (2020) en una investigación sobre las estimaciones de carbono en diferentes edades (2.4, 2.6, 2.8 y 3 años de la plantación) de *Gmelina arborea* Roxb, registraron datos dasométricos: como biomasa de fuste, biomasa de ramas, biomasa de follaje, biomasa aérea total, carbono en fuste, carbono en ramas, carbono en follaje y carbono total del árbol; para estimar el carbono acumulado en la parte aérea de la plantación. Para ello implementaron ocho parcelas permanentes y utilizaron ecuaciones alométricas para obtener los datos de las respectivas variables. Los resultados establecieron que los árboles con mayor edad (tres años) obtuvieron el índice más alto de carbono almacenado con un total de  $8.31 \text{ t ha}^{-1}$ .

Debido a los efectos negativos del  $\text{CO}_2$  hacia la atmósfera en esta investigación se describen las implicaciones económicas del secuestro de dióxido de carbono en plantaciones de balsa (*O. pyramidale*) y su relación con la edad del cultivo. En virtud de lo referido anteriormente en este trabajo se pretende realizar también una comparación entre tres plantaciones de diferentes edades y el stock de carbono en la biomasa aérea viva de *O. pyramidale*.

## 2. Objetivos

### 2.1. Objetivo general

- ✓ Determinar las implicaciones económicas del secuestro de dióxido de carbono en plantaciones de *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb. y su relación con la edad del cultivo.

### 2.2. Objetivos específicos

- ✓ Estimar el carbono almacenado en la biomasa aérea viva en plantaciones de *O. pyramidale*
- ✓ Comparar las relaciones entre la edad de la plantación y el stock de carbono en la biomasa aérea viva en plantaciones de *O. pyramidale*.
- ✓ Realizar una estimación del valor económico del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) almacenado en la biomasa aérea viva en plantaciones de *O. pyramidale*.

### 3. Marco teórico

#### 3.1. Origen

*Ochroma pyramidale* es una especie forestal nativa del sur de México, el Caribe y Suramérica conocida mundialmente por las cualidades de su madera de baja densidad (Belezaca et al., 2019); además, esta especie es típica de los bosques secundarios con buen drenaje, generalmente se encuentra en las formaciones de la selva alta (Oshiro, 2016).

#### 3.2. Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica de la balsa según Aguirre (2010) es la siguiente :

**Reino:** Plantae

**División:** Magnoliophyta

**Clase:** Magnoliopsida

**Orden:** Malvales

**Familia:** Malvaceae

**Subfamilia:** Bombacoideae

**Género:** *Ochroma*

**Especie:** *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb.

#### 3.3. Descripción morfológica

*Ochroma pyramidale* es un árbol con una altura aproximada entre 25 y 30 metros (Francis, 1991), cuya copa es pequeña y con follaje disperso, tronco recto y cilíndrico desprovisto de ramas por la mitad (Aguirre et al., 2015).

**Hojas:** son simples, alternas, ásperas en el haz **Flores:** son blancas y aromáticas cuya inflorescencia sale a partir de los abultamientos de las ramas (Aguirre et al., 2015)

. **Fruto:** Tiene forma de cápsula dehiscente, color café. **Semillas:** son pequeñas, negras se encuentran rodeadas por una lana (Vinueza, 2012).

#### 3.4. Cambio climático

Según la Subsecretaría de Gestión Ambiental. (2020) el cambio climático es un fenómeno perfectible que manifiesta con el incremento de la temperatura en el planeta,

por ende, el aumento de la temperatura nos conllevara a una serie de fenómenos climatimtico los cuales serían producidos por el aumento de la temperatura.

Por consiguiente, una de las causas negativas del cambio climático es el calentamiento global de la tierra, en este contexto, el informe realizado por el Programa Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) señala que las actividades realizadas por el hombre han causado un aumento en la temperatura global de la Tierra en 1,0 °C aproximadamente con respecto a los niveles preindustriales, además menciona que entre los años 2030 y 2052 es probable que el calentamiento global aumente a 1,5 °C, por lo que este organismo añade que los riesgos futuros relacionados con el clima dependen del ritmo, el pico y la duración del calentamiento (IPCC, 2019).

Es importante señalar que el cambio climático es producto de las emisiones antropógenas (IPCC, 2019) de dióxido de carbono (considerado el gas antropogénico más importante), vapor de agua, ozono, metano y óxido nitroso (Sánchez, 2016) conocidos como gases de efecto invernadero (Morá, 2020).

El CO<sub>2</sub> antropogénico resulta como consecuencia de la quema de combustibles fósiles, cambio en el uso del suelo y la quema de bosques (Yepes-Mayorga, 2012), este gas según la Dirección de Políticas Energéticas y Cambio Climático (DPECC, 2020) es el principal responsable del calentamiento de la tierra, por otra parte, es necesario recalcar que antes de la revolución industrial, en la atmósfera siempre existió una concentración promedio de 270 ppm de CO<sub>2</sub>, no obstante para principios de los 90 la concentración de este gas aumentó a 290 ppm, en 2015 a más de 400 ppm (Moreno, 2020), sin embargo la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico para 2019 alcanzó su máximo medio anual a 409,8 ppm superando lo observado en al menos los últimos 800.000 años, este aumento principalmente se debe las emisiones procedentes de la quema de combustibles fósiles que dominan las emisiones totales de gases de efecto invernadero expresadas en CO<sub>2</sub> equivalente (DPECC, 2020) y según la Organización de las Naciones Unidas (ONU) para el año 2020 la tendencia de este gas continuó en aumento centrandose en 411,29 ppm.

### **3.5. Alometría y carbono almacenado en biomasa aérea viva**

La alometría estudia el cambio de escala entre dos dimensiones de un organismo considerado, Walker et al. (2016) mencionan que se pueden aplicar métodos de medición indirectos y técnicas de muestreo para estimar de manera confiable existencia de biomasa,

por ende, citan a las ecuaciones alométricas como el método de medición indirecto dominante para estimar existencia de biomasa arbórea.

Las ecuaciones alométricas son el método más utilizado para estimar biomasa forestal; se desarrollan y aplican a los datos del inventario forestal para evaluar biomasa y las reservas de carbono en los bosques; en este contexto, las ecuaciones alométricas para estimar biomasa se ejecutan estableciendo una relación con los diversos parámetros físicos de los árboles como el diámetro a la altura del pecho, altura del tronco del árbol, altura total del árbol, diámetro de la copa, especie arbórea, entre otros (Vashum y Jayakumar, 2012).

Por otra parte Vieilledent et al. (2012) añaden que las ecuaciones alométricas permiten estimar la biomasa arbórea aérea y la reserva de carbono a partir del tamaño del árbol, a su vez mencionan que la alometría de los árboles depende de factores ambientales y genéticos que varían de una región a otra, además hacen referencia que cuando los modelos alométricos de biomasa no están disponibles para un sitio forestal determinado se necesita una alometría simple de altura-diámetro para estimar con precisión la existencia de biomasa y carbono a partir de inventarios de parcela.

El dióxido de carbono en la atmósfera es absorbido por las plantas y convertido en carbohidratos y tejidos a través del proceso de fotosíntesis, como parte del ciclo del carbono (Lapeyre et al., 2016), por lo que Somarriba et al. (2013) sostienen que las plantaciones agroforestales logran capturar carbono y almacenarlo en su biomasa dura (madera), hojas, ramas, corteza y raíces, sin embargo, esto depende de la composición de las especies en un bosque o plantación, del efecto de factores climáticos locales como precipitación y temperatura y de las características del suelo que determinan el crecimiento del árbol.

De acuerdo a lo mencionado por Hernández-Ramos et al. (2017) la biomasa aérea es fundamental para determinar la cantidad de carbono almacenado en la cubierta forestal. Basado en este contexto, López-Reyes et al. (2016) demostraron que el almacenamiento de carbono en biomasa aérea está relacionado con la edad, mientras que Salas et al. (2020) demostraron que la altitud no tiene influencia en el almacenamiento de carbono. Por lo expuesto, es posible considerar que la conservación de árboles es importante para mitigar los efectos ocasionados por el CO<sub>2</sub> atmosférico.



### **3.6. Relaciones entre la edad de leñosas y el almacenamiento de carbono en su biomasa aérea viva**

Al igual que en la biomasa, la edad tiene un efecto significativo sobre el almacenamiento de carbono en plantaciones; en este contexto, la mayor parte de la biomasa y el C orgánico se almacena en las fracciones aéreas de los árboles (Diédhiou et al., 2017). Por lo antes expuesto, el crecimiento y la acumulación de biomasa de los árboles están sujetos a variaciones de un año a otro y por ende, a largo plazo la acumulación de carbono es grande en los árboles maduros que forman el dosel de la copa superior, al contrario de árboles jóvenes donde la acumulación de carbono es comparativamente baja (Kohl et al., 2017).

### **3.7. Costos de producción, rendimientos y beneficios económicos del cultivo**

Actualmente la producción de balsa ha logrado incrementar en gran escala a nivel mundial, esto es debido principalmente por ser un producto que posee cualidades ecológicas que ayudan a la conservación del medio ambiente. Según González et al. (2010) el costo de producción en una hectárea de balsa durante 4 años de producción asciende 2 477,06 USD con ingresos de 6 000,00 dólares obteniendo un beneficio neto de 3 522,94 dólares y una rentabilidad de 142,0% por hectárea. Por otra parte, es necesario señalar que actualmente en Ecuador la balsa es cortada entre los 3 y 4 años para de esta manera aprovechar el máximo beneficio debido a que es cuando su madera alcanza la mejor calidad a diferencia de los árboles que pasan de los 5 años ya que se considera que a esta edad estos pierden su valor comercial (Expreso, 2021).

### **3.8. Valoración económica del carbono almacenado en plantaciones forestales**

La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos naturales (SEMARNAT, 2018) reporta que hay varios mercados de carbono y otros programas relacionados al precio del carbono que se vienen desarrollando desde el Protocolo de Kyoto y se fortalecieron a partir del Acuerdo de París en 2015, por lo que la Compañía Española de Petróleos (CEPSA, 2015) afirma que el comercio de las emisiones de CO<sub>2</sub> es una herramienta administrativa utilizada para el control de gases de efecto invernadero. Por otra parte, parara el año 2017 se reportaron 67 iniciativas de compra del carbono en el mundo, siendo el mercado europeo (EU-ETS) el caso más amplio con más de 11 mil involucrados en 28 países, sin embargo, en la actualidad existen 61 iniciativas destinadas a la fijación de precios al carbono, aquí se encuentran unas vigentes y otras cuya implementación está

programada, en este contexto, estas consisten en 31 sistemas de comercio de emisiones (SCE) y 30 impuestos al carbono que abarcan el 22% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (Grupo Banco Mundial, 2020).

Paralelamente a lo mencionado anteriormente, el Grupo Banco Mundial (2020) menciona cinco tipos de fijación de precios de carbono, por lo que hace referencia a los impuestos al carbono que incluyen impuestos gravámenes e imposiciones especiales que explícitamente fijan un precio al carbono, seguidamente hace mención de los SCE, estos son regulados por entidades de gobierno que asumen obligaciones con respecto a sus emisiones de GEI, además que pueden comercializar con permisos de emisión para dar cumplimiento a dichas obligaciones. Por otra parte, se encuentran los mecanismos de créditos de compensación, estos son aquellos que otorgan créditos de compensación comercializables a agentes voluntarios que llevan a cabo actividades de reducción de emisiones, seguidamente se encuentran el financiamiento climático basado en resultados y políticas que fijan un precio a las emisiones de GEI.

Por otra parte, en un trabajo realizado en tres cantones del Litoral Ecuatoriano donde se llevó a cabo la valoración económica de las plantaciones de teca (*Tectona grandis*) y balsa (*Ochroma pyramidale*), Mora (2015) demostró que la mayor acumulación de carbono total presentó diferencias significativas a nivel de cantones y especies, por lo que se pudo determinar que la teca aporta con 20,39 y la balsa con 145,81 Tm ha<sup>-1</sup>. Por lo tanto, los ingresos económicos generados por la venta de madera superan a los ingresos generados por la venta de certificados de carbono en un horizonte de 20 y 5 años en teca y balsa, respectivamente.

## 4. Metodología

El experimento se llevó a cabo en las comunidades de Visquiye en Medio y Bonce Adentro, ambas pertenecientes al cantón Santa Ana ubicado geográficamente en el centro Este de la provincia de Manabí a  $1^{\circ} 12'$  de latitud Sur y  $80^{\circ} 22''$  de longitud Oeste, cuya altitud es de 50 msnm y su zona alta más elevada alcanza una altitud de 400 msnm con suelos de textura arcillosa-arenosa a franco arcillosa-limosa (SNI, 2014). Según el GAD Municipal del Cantón Santa Ana (2019) ambos sectores poseen clima tropical seco distribuido en dos estaciones (invierno y verano), la temperatura promedio anual es de  $26^{\circ}\text{C}$ . La temperatura máxima absoluta ha llegado a  $37^{\circ}\text{C}$  y la mínima a  $14^{\circ}\text{C}$ , sin embargo, la variación diaria de la temperatura puede alcanzar hasta  $10^{\circ}\text{C}$ .

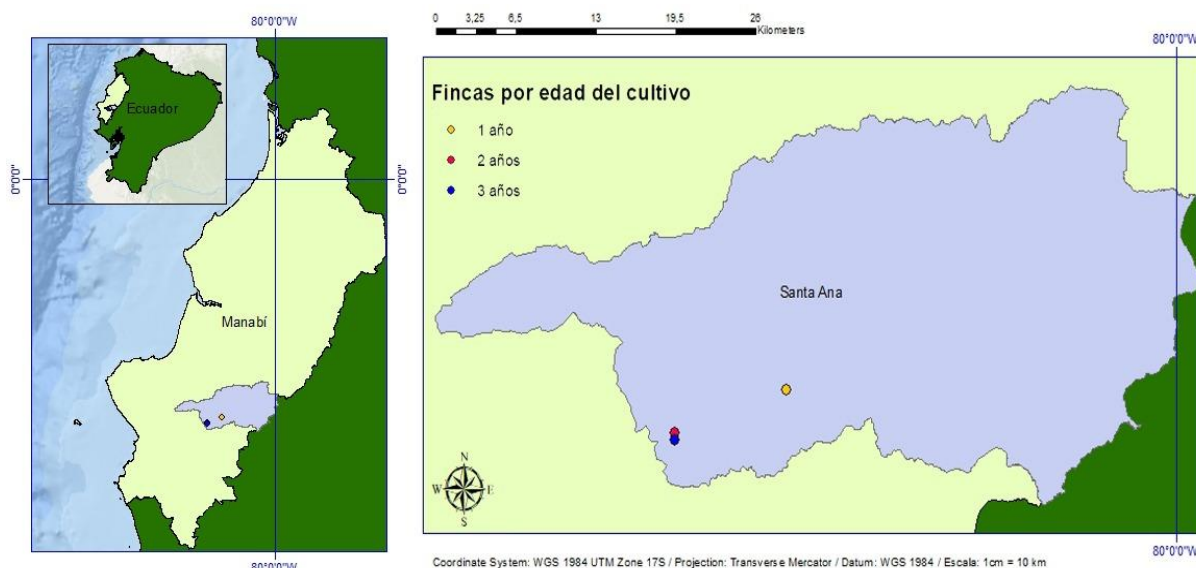
Para la realización del experimento fueron consideradas tres plantaciones de *O. pyramidale* de diferentes edades (uno, dos y tres años) en los cuales se realizó una comparación entre los tres escenarios que se estudiaron (Figura 1).

### 4.1. Características de cada plantación

**Plantación 1.** Esta plantación está ubicada en la comunidad Visquiye en Medio. Cuenta con una hectárea, fue establecida hace un año y está compuesta por 500 individuos.

**Plantación 2.** Esta plantación está ubicada en la comunidad de Bonce Adentro. Cuenta con dos hectáreas, fue establecida hace dos años y está compuesta por 1 666 individuos. Además, en esta plantación se realizó un releo del 25 % para así ayudar en el desarrollo de los arboles

**Plantación 3.** Esta plantación está ubicada en la comunidad de Bonce Adentro. Cuenta con tres hectáreas, fue establecida hace tres años y está compuesta por 1 875 individuos y en esta plantación también se realizó el raleo de 25% pero con la diferencia de un año con respecto a la plantación 2.



**Figura 1.** Ubicación de los sitios de muestreo

En cada plantación se establecieron cuatro parcelas de muestreo de 20 x 25 m (500 m<sup>2</sup>) donde se registró el diámetro a la altura del pecho (DAP), el cual se obtuvo midiendo la circunferencia del fuste utilizando una cinta diamétrica a 130 cm desde el suelo y la altura total de todos los árboles dentro de la parcela. Con estos datos se determinó el área basal (m<sup>2</sup>/ha) y el volumen (m<sup>3</sup>/ha) de madera. Posteriormente, los datos de DAP obtenidos se utilizaron para alimentar la ecuación alométrica para determinar biomasa aérea viva en *O. pyramidale* generada por Douterlungne et al. (2013).

Luego de calcular la biomasa aérea (kg MS/árbol), se calculó la biomasa total en megagramos por hectárea (Mg/ha), multiplicando el valor obtenido por parcela, por el factor de conversión según el tamaño de la parcela empleado.

$$BA = \left( \sum \frac{AU}{1000} \right) \times \left( \frac{10\ 000}{\text{área de la parcela}} \right)$$

Dónde:

BA = Biomasa arbórea sobre el suelo (Mg MS/ha)

$\sum AU$  = Sumatoria de la biomasa arbórea de todos los árboles de la parcela (kg MS./área de la parcela)

Factor 1 000 = Conversión de las unidades de la muestra de kg MS / Mg MS

Factor 10 000 = Conversión del área (m<sup>2</sup>) a hectárea

Para realizar la conversión de biomasa aérea a carbono se consideraron los lineamientos definidos por la guía de buenas prácticas para uso de suelo, cambio de uso del

suelo y silvicultura del IPCC (Penman et al., 2003), que asume el contenido de carbono es el 50% de la biomasa aérea de cada árbol (Jew et al, 2016; Hetland et al, 2016; Vijayakumar et al. 2016), teniendo entonces que:

$$CBA = (BA \times FC)$$

Dónde:

CBA = Cantidad de carbono en la biomasa aérea (Mg C/ha)

BA = Biomasa arbórea sobre el suelo (Mg MS/ha)

FC = Fracción de carbono (Mg C/tMS). El valor estándar es 0,50

Para la estimación del CO<sub>2</sub> almacenado en las plantaciones se utilizó la ecuación propuesta por Ahirwal et al. (2017):

$$CO_2 = CBA \times 3,6663$$

Donde:

CO<sub>2</sub> = Dióxido de carbono secuestrado, en toneladas de dióxido de carbono por hectárea (tC/ha).

CBA= Carbono total almacenado, en toneladas de carbono por hectárea (tC/ha)

3,6663 = Factor de conversión a CO<sub>2</sub>.

Para estimar el valor económico del CO<sub>2</sub> secuestrado, se multiplicó la cantidad total de CO<sub>2</sub>, con el precio del carbono en el mercado internacional.

VE = CO<sub>2</sub> \* Precio en el mercado

Donde:

VE= valor económico, en dólares por hectárea (US\$/ha)

CO<sub>2</sub>= dióxido de carbono secuestrado, en toneladas de dióxido de carbono por hectárea (MgCO<sub>2</sub>/ha).

Para determinar el valor en el mercado del servicio de secuestro de dióxido de carbono, se tuvo en cuenta el valor referencial dado Sistema europeo de negociación de CO<sub>2</sub> (SENDEC02), de la fecha del 18 de septiembre de 2021 (€ 59.43/Mg CO<sub>2</sub>).

## 5. Resultados y discusión

### 5.1. Estimación de carbono almacenado en biomasa aérea viva en plantaciones de *Ochroma pyramidale*

Los resultados demuestran que la plantación de tres años almacena mayor cantidad de carbono en su biomasa aérea viva (40,54 Mg C ha<sup>-1</sup>), seguida de las plantaciones de dos (22,27 Mg C ha<sup>-1</sup>) y un año (21,30 Mg C ha<sup>-1</sup> respectivamente. Estos datos posteriormente se utilizaron para estimar el CO<sub>2</sub> almacenado por hectárea en cada finca, los cuales pueden observarse en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Carbono almacenado en biomasa aérea viva y CO<sub>2</sub> estimado en plantaciones de *Ochroma pyramidale*

Plantaciones	Mg C / árbol	Mg C ha <sup>-1</sup>	CO <sub>2</sub> (Mg)
Finca 1 (Visquiye en Medio/1 año)	0,0247667	21,30	78,09
Finca 2 (Bonce Adentro/2 años)	0,0362044	22,27	81,63
Finca 3 (Bonce Adentro/3 años)	0,0687112	40,54	148,63

**Mg:** megagramos. **C:** carbono. **Mg C / árbol:** megagramos de carbono por árbol. **Mg C/ha:** megagramos de carbono por hectárea. **CO<sub>2</sub>:** Dióxido de carbono.

### 5.2. Comparación de las relaciones entre la edad de la plantación y el stock de carbono en la biomasa aérea viva en plantaciones de *O. pyramidale*.

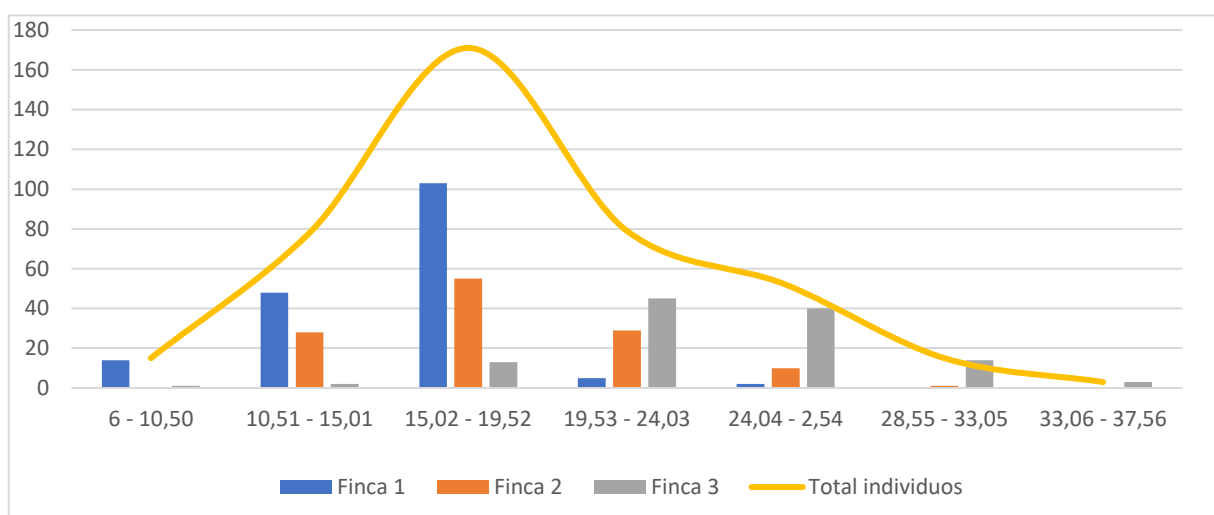
La plantación de 3 años presentó mayor promedio en la variable DAP en comparación con las demás plantaciones, por consiguiente, los datos obtenidos muestran que en *O. pyramidale* el incremento de carbono se da a partir de los dos años de plantación siendo este superior en el tercer año. Por otra parte, la plantación de un año obtuvo mayor promedio en la variable altura, sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre las tres plantaciones estudiadas como se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2. Stock carbono obtenido en plantaciones de *O. pyramidale***

Finca / edad	Promedio de DAP (cm)	Promedio altura (m)	C (Mg ha <sup>-1</sup> )	Incremento C (Mg ha <sup>-1</sup> )
Finca 1	15,42	11,71	21,30	0
Finca 2	18,16	11,51	22,27	0,97
Finca 3	24,07	11,03	40,54	18,27

**Donde: DAP:** diámetro a la altura de pecho. **Incremento C:** incremento de Carbono

Además, en la Figura 2 se presentan datos sobre las clases diamétricas obtenidas en la presente investigación, en donde los diámetros van desde 6 a 37,56 cm, encontrando la mayor cantidad de individuos en la clase diamétrica de 15,02 a 19,52 cm.



**Figura 2** Clases diamétricas obtenidas en *O. pyramidale*.

### 5.3. Estimación del valor económico del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) almacenado en la biomasa aérea viva en plantaciones de *O. pyramidale*.

Por medio de los cálculos obtenidos en esta investigación se pudo demostrar cuales son los ingresos generados por la venta de madera en una plantaciones de *O. Pyramidale* a los tres años, la Tabla 3 muestra que en el tercer año se obtienen ingresos por venta de la madera de 9 786,13 USD con un costo de producción de 1 952,00 USD, generando un beneficio neto de 7 834,13 USD. Por otra parte, la venta de CO<sub>2</sub> almacenado podría proveer un ingreso 10 511,39 USD según la estimación realizada y el valor del CO<sub>2</sub> establecido por SENDECO<sub>2</sub> generando una ganancia 8 559,39. Finalmente, si se

realiza un análisis comparativo, la opción de vender el CO<sub>2</sub> almacenado, podría representar 725,26 USD extra a la alternativa por venta de madera.

**Tabla 3.** Estimación del valor económico del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) almacenado en la biomasa aérea viva en plantaciones de *O. pyramidale*

<b>Fincas</b>	<b>Ingresos/ venta de madera</b>	<b>Egresos / costos producción</b>	<b>Beneficio neto</b>	<b>Ingreso por CO2 almacenado</b>
Año 1	0,00	1422		
Año 2	68,63	315		
Año 3	9717,50	215		
	<b>9 786,13</b>	<b>1 952,00</b>	<b>7 834,13</b>	<b>10 511,39</b>

### Discusión

Mediante los resultados obtenidos en esta investigación se pudo demostrar que el contenido de carbono almacenado en biomasa aérea viva en plantaciones de *O. Pyramidale* tiene un comportamiento ascendente según la edad de plantación, esto podría deberse a que en la plantación de tres años se encuentran los árboles con mayores diámetros, en este contexto, este parámetro es considerado como uno de los mejores predictores de BA, este criterio coincide con algunas investigaciones realizadas en la temática (Sáenz et al., 2021; Sione et al., 2020; López et al., 2018) , por otra parte, los datos obtenidos en la plantación de dos años se acercan a los obtenidos por Douterlungne et al. (2013) quienes en su investigación en plantaciones de dos años de *O. pyramidale* encontraron que la cantidad de carbono almacenado fue 30,8 Mg C ha<sup>-1</sup>, no obstante, es necesario indicar que estos autores trabajaron con una densidad de 1 600 individuos, a diferencia de la presente investigación en donde la densidad de plantación de dos años fue de 469 individuos.

Por otra parte, se estimó el stock de carbono almacenado en biomasa aérea en donde se encontró la mayor cantidad de este en la plantación de 3 años (18,27 Mg C ha<sup>-1</sup>), este resultado es relativamente parecido a lo obtenido por García-García et al. (2019) quienes en su investigación en plantaciones de *Tectona grandis* encontraron que a los 4 años esta especie acumula una cantidad de 18,095 Mg C ha<sup>1</sup> y de acuerdo con López-Reyes et al. (2016) esto se debe a que la edad es un factor determinante en las reservas de carbono de una plantación, por lo que Lapeyre et al. (2016) concuerdan con este criterio y añaden que las capturas de carbono se deben al incremento de la biomasa anual y a los primeros años de vida de una plantación y señalan que este incremento tiene un índice



mayor que en los años posteriores hasta llegar al equilibrio. Este hecho sugiere que los ingresos por venta de carbono se prolongarían en el tiempo, es decir, si se decide mantener la plantación como sumidero de carbono, los ingresos no se detendrían al cortar la madera (como sucedería si se realiza el aprovechamiento maderero) sino más bien continuarían con una ligera disminución en el tiempo.

Finalmente, se realizó la estimación del valor económico del dióxido de carbono el cual es considerado como uno de los principales servicios ambientales para mitigar el calentamiento global. Mediante esta investigación se pudo determinar que la negociación con el Mercado de SENDECO<sub>2</sub> en especie *O. Pyramidale* durante tres años se logra obtener un beneficio neto de 8 559,39 USD generando una tasa interna de retorno de 68,63% demostrando así que mantener la plantación con miras a captura y almacenamiento de carbono, es una alternativa viable. Por otro lado, en la investigación realizada por Morales y Vásquez (2019) quienes proponen la negociación con el Mercado voluntario: Carbonfund, y el Mercado de SENDECO<sub>2</sub> obtienen que en el Mercado voluntario: Carbonfund cumple financieramente con las perspectivas de viabilidad, con un beneficio neto de 256 825,38 USD; y la tasa interna de retorno es del 46 %, y se recupera la inversión en dos años. Así mismo el Mercado de SENDECO<sub>2</sub> también cumple financieramente con las perspectivas de viabilidad, ya que cuenta con un beneficio neto positivo de 553 190,97 USD. Sin embargo al contar con una alta tasa interna de retorno de 81 %, la recuperación de la inversión inicial es en menos de un año. Es por esto, que Luza (2013) considera que “el valor económico no es un valor fijo, este varía dependiendo el mercado económico internacional actual, la dinámica del valor de los CERs (certificados de reducción), la metodología de valoración (ambiental o ecológica) e inclusive el tipo de servicio ambiental que ofrece un ecosistema”.

## 6. Conclusiones

- Una hectárea de *O. pyramidale* puede almacenar entre 21,30 en el primer año hasta 40,54 Mg C ha<sup>-1</sup> en el tercer año.
- El stock de carbono en plantaciones de *O. pyramidale* es ascendente a partir del segundo año y aumenta significativamente en el tercer año de plantación.
- El valor del CO<sub>2</sub> equivalente almacenado en plantaciones de *O. pyramidale* puede estar entre 4 914,907462 USD en el primer año y 9 354,65722 USD en el tercer año.

## **7. Recomendación**

- Debido a los pocos estudios realizados en este tipo de especies forestales, se recomienda que se realicen investigaciones utilizando otras metodologías que provean información sobre el beneficio ambiental que representa el almacenamiento de carbono en plantaciones forestales y que en algún momento pueda considerarse como una alternativa al aprovechamiento maderero.

## 8. Referencias bibliográficas

- Aguirre F, P. H. (2010). *Fomulacion del plan de manejo forestal para el centro de transferencia y desarrollo de tecnologas*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Aguirre M, Z., Loja Ch, A. F., Solano A, C., & Aguirre M, N. (2015). *Especies forestales mas utilizadas en la region sur del Ecuador* (UNL).
- Ahirwal, J., Maiti, S. K., & Singh, A. K. (2017). (2017). Changes in ecosystem carbon pool and soil CO<sub>2</sub> flux following post-mine reclamation in dry tropical environment, India. *Science of the Total Environment*.
- Belezaca, P. C., Calle, G. D., Prieto, B. O., López, T. R., E., S. A., & Meza, B. F. (2019). Hongos formadores de micorriza arbuscular asociados a plantaciones de *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb. (balsa) en el Trópico Húmedo Ecuatoriano. *Ciencia y Tecnologia UTEQ*, 12(1), 57–63. <https://doi.org/https://doi.org/10.18779/cyt.v12i1.312>
- Castillo, Y. I., González, R. ., Hervis, G., Hirán, R. L., & Cisneros, Z. . (2020). Impacto del cambio climático en el rendimiento del maíz sembrado en suelo Ferralítico Rojo compactado. *Ingeniería Agrícola*, 10(1), 2–11.
- CEPSA. (2015). *El cambio climático y los gases de efecto invernader (GEI) en Cepsa*. [https://www.cepsa.com/stfls/CepsaCom/Coorp\\_Comp/Medio Ambiente\\_Seguridad\\_Calidad/Articulos/Dossier-Cambio-Climatico-y-GEI.pdf](https://www.cepsa.com/stfls/CepsaCom/Coorp_Comp/Medio Ambiente_Seguridad_Calidad/Articulos/Dossier-Cambio-Climatico-y-GEI.pdf)
- Diédhiou, A. ., Diallo, D., Mbengue, A. ., Hernandez, R. ., Bayala, R., Diémé, R., Diédhiou, P. ., & Sèn, A. (2017). Allometric equations and carbon stocks in tree biomass of *Jatropha curcas* L. in Senegal's Peanut Basin. *ELSEVIER*, 9, 61–69.
- Douterlungne, D., Herrera, G. A. M., Ferguson, B. G., Siddique, I., & Soto, P. (2013). Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono de cuatro especies leñosas neotropicales con potencial para la restauración. *Agrociencia*.
- DPECC. (2020). *Ciencia del cambio climático 2020: Presente y Futuro* (Iberdrola).
- Expreso. (2021). *La balsa, el nuevo oro de la discordia*. <https://www.expreso.ec/actualidad/balsa-nuevo-oro-discordia-103282.html>
- Francis, J. (1991). *Ochroma pyramidale* Cav. Balsa. In *Departamento de Agricultura* (Forest Ser).
- GAD, S. A. (2019). *Situacion geografica*. <http://archivo.santaana.gob.ec/santaana/situacion-geografia/>

- García-García, D., García-Mosqueda, G., & Jiménez-Pérez, J. (2019). Carbono y dióxido de carbono almacenado en una plantación de *Tectona grandis* de 4 y 5 años de edad en México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 15(1), 28–34.
- Gonzales, B., Simba, L., & Oviedo, B. (2018). Un cultivo resiliente para enfrentar el cambio climático, la balsa (*Ochroma pyramidale sw*). *Revista Ciencia & Tecnología*, 18(20), 88–100.
- González, O. B., Oviedo, B. B., & Simba, O. . (2018). Un cultivo resiliente para enfrentar el cambio climático, la balsa (*Ochroma pyramidale sw*). *Revista Científica Ciencia y Tecnología*, 18(20), 88–100. <https://doi.org/10.47189/rcct.v18i20.226>
- González O, B., Cervantes M, X., Torres N, E., Sánchez F, C., & Simba, L. (2010). Caracterización del cultivo de balsa (*Ochroma pyramidale*) en la provincia de Los Rios- Ecuador. *Ciencia y Tecnología*, 3(2), 7–11.
- Grupo Banco Mundial. (2020). *Situación y tendencias de la fijación del precio al carbono*.
- Hernández-Ramos, J., De los Santos-Posadas, H. ., Valdez-Lazalde, J. ., Tamarit-Urias, J. ., Ángeles-Pérez, G., Hernández-Ramos, A., Peduzzi, A., & Carrero, O. (2017). Biomasa aérea y factores de expansión en plantaciones forestales comerciales de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. *Agrociencia*, 51(8), 921.
- Hetland, J., Yowargana, S., Leduc, S., & Kraxner, F. (2016). Carbon-negative emissions: systemic impacts of biomass conversion: a case study on CO<sub>2</sub> capture and storage options. *Int. J. Greenhouse Gas Control* 49:330–342.
- Honorato S, J. A., Hernández C, G., Apolinar H, F., & Aburto, J. (2015). Principales componentes químicos de la madera de *Ceiba pentandra*, *Hevea brasiliensis* y *Ochroma pyramidale*. *Madera y Bosques*, 21(2), 131–146.
- IPCC. (2019). *Calentamiento global de 1,5°C: Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto in* (V. Masson-Delmotte, H. Pörtner, J. Skea, P. Zhai, D. Roberts, P. Shukla, A. Pirani, R. Pidcock, Y. Chen, W. Moufouma-Okia, S. Connors, X. Zhou, C. Péan, J. Robin, M. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, & T. Waterfield (eds.)).
- Jew, E. K. K., Dougill, S. M. S., Connell, J., & Benton., and T. G. (2016). Miombo woodland under threat: consequences for tree diversity and carbon storage. *For. Ecol. Manage.* 361:144–153.

- Kim G, G. (2013). The Impact of Climate Change on the Agricultural Sector: Implications of the Agro-Industry for Low Carbon, Green Growth Strategy and Roadmap for the East Asian Region. *KOIKA*, 1–51.
- Kohl, M., Neupane, P. R., & Lotfiomran, N. (2017). The impact of tree age on biomass growth and carbon accumulation capacity: A retrospective analysis using tree ring data of three tropical tree species grown in natural forests of Suriname. *PLOS ONE*, *12*(8), e0181187.
- Kweku, D. W., Bismark, O., Maxwell, A., Desmond, K. A., Danso, K. B., Oti-Mensah, E. A., Quachie, A. T., & Adormaa, B. B. (2017). Greenhouse effect: Greenhouse gases and their impact on global warming. *Journal of Scientific Research & Reports*, *17*(6), 1–9.
- Lapeyre, T., Alegre, J., & Arévalo, L. (2016). Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en san martín, Perú. *Ecología Aplicada*. <https://doi.org/10.21704/rea.v3i1-2.269>
- López-Reyes, L. Y., Domínguez-Domínguez, M., Martínez-Zurimendi, P., Zavala-Cruz, J., Gómez-Guerrero, A., & Posada-Cruz, S. (2016). Carbono almacenado en la biomasa aérea de plantaciones de hule (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.) de diferentes edades. *Madera y Bosques*, *22*(3), 49–60. <https://doi.org/https://doi.org/10.21829/myb.2016.2231456>
- López, H. G., Vaides, E. E., & Alvarado, A. (2018). Evaluación de carbono fijado en la biomasa aérea de plantaciones de teca en Chahal, Alta Verapaz, Guatemala. *Agronomía Costarricense*, *42*(1), 137–153. <https://doi.org/10.15517/rac.v42i1.32201>
- Luza, E. I. (2013). Stock de carbono almacenado en la biomasa aérea, sotobosque y suelo en bosques andinos, Huancayo, Perú, 2013. En Revista ECIPeru. <https://doi.org/10.33017/reveciperu2014.0012/>
- MAE, & FAO. (2014). *Propiedades anatómicas, físicas y mecánicas de 98 especies forestales*.
- Mohammed, A., Li, J., Elaru, J., Elbashier, M. M. A., Keesstra, S., Artemi, C., Martin, K., Reuben, M., & Teffera, Z. (2018). Assessing drought vulnerability and adaptation among farmers in Gadaref region, Eastern Sudan. *Land Use Policy*, *70*, 402–413. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.11.027>
- Mora, A. (2015). *Valoración económica de las plantaciones de teca (*tectona grandis*) y balsa (*ochroma pyramidale*) en tres cantones del Litoral Ecuatoriano*. [Tesis de

- grado, Universidad técnica estatal de quevedo facultad de ciencias agrarias escuela de economía agrícola*]. Universidad técnica estatal de quevedo facultad de ciencias agrarias escuela de economía agrícola.
- Morales, S. M. P., & Vásquez, V. M. (2019). Valoración económica de la captura de carbono en las especies *podocarpus sprucei* y *oreocallis grandiflora* en el bosque protector aguarongo. [Universidad politécnica salesiana sede cuenca]. En Universidad Politecnica Salesiana-Sede Cuenca. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7986/1/UPS-CT004855.pdf>
- Morá, C. y A. de E. (2020). *¿Qué cambia cuando cambia el clima?* (MRP). <https://doi.org/http://www.ecologistasenaccion.org/>
- Moreno, H. (2020). Las emisiones de gases de efecto invernadero en tiempos de Covid-19. *Universitarios Potosinos*, 16–21.
- Núñez, C. A., González, M., & Saura, L. . (2015). Proceso de recuperación de CO<sub>2</sub>. Generalidades. *ICIDCA : Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar*, 49(2), 24–32.
- Oshiro Ch, M. (2016). *FICHA ESTÁNDAR DE FAMILIA DEL CATÁLOGO DE BIENES, SERVICIOS Y OBRAS DEL MEF*.
- Penman, J., Gytarsky, M., Hiraiishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Tanabe, K. (2003). *Good practice guidance for land use, land-use change and forestry*. Institute for Global Environmental Strategies.
- Rontard, B., Reyes H, H., & Aguilar R, M. (2020). Pagos por captura de carbono en el mercado voluntario en México: diversidad y complejidad de su aplicación en Chiapas y Oaxaca. *Sociedad y Ambiente*. <https://doi.org/10.31840/sya.vi22.2106>
- Sáenz, R. J. T., Rueda, S. A., Solorio, Benavides, S. J., Muñoz, F. H. J., Castillo, Q. D., & Sáenz, C. J. . (2021). Ecuaciones alométricas, biomasa y carbono en plantaciones forestales tropicales en la costa de Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(65), 27–44. <https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i65.856>
- Salas, M. C. A., Montes, E. K., Sánchez, S. G., Alcívar, C. W., Murillo, C. A., Vera, C. F., Bolcato, B. D., & Iglesias-Abad, S. (2020). Influencia del gradiente altitudinal sobre la estimación del carbono almacenado en biomasa aérea viva y en suelos del “Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands”. *Joa, Jipijapa. Ecosistemas*, 29(2), 1973. <https://doi.org/https://doi.org/10.7818/ECOS.1973>
- Sánchez, C. (2016). Evolución del concepto de cambio climático y su impacto en la salud pública de Perú. *Scielo*, 33(1), 128–138.

- SEMARNAT, (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos naturales). (2018). *Acuerdo por el que se establecen las bases preliminares del programa de prueba del sistema de comercio de emisiones*.
- Sione, S. M. J., Ledesma, S. G., Rosenberger, L. J., Oszust, J. D., Andrade, H. J., Maciel, G. O., & Wilson, M. G. (2020). Modelos alométricos de biomasa aérea para *Vachellia caven* Mol. Molina en bosques nativos del Espinal (Argentina). *Quebracho*, 20(1,2), 20–33.
- SNI. (2014). *Caracterización biofísica del cantón Santa Ana*. [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdiagnostico/santaana-fasediagnosticopreliminar\\_15-11-2014.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/santaana-fasediagnosticopreliminar_15-11-2014.pdf)
- Somarriba, E., Cerda, R., Orozco, L., Cifuentes, M., Dávila, H., Espin, T., Mavisoy, H., Ávila, G., Alvarado, E., Poveda, V., Astorga, C., Say, E., & Deheuvels, O. (2013). Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central America. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 173(4), 45–57. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.04.013>
- Subsecretaría de Gestión Ambiental. (2020). *¿Qué es el Cambio Climático?*
- Telles, R., Alanís, E., Jiménez, J., Aguirre, O., & Treviño, E. (2020). Estimación de carbono acumulado en *Gmelina arborea* Roxb. en Tlatlaya, Estado de México mediante ecuaciones alométricas. *Scielo*, 10(55). <https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i55.593>
- Valderrama L, C. F., Castillo V, J. A., Torres R, J. C., Guzmán L, A. R., Forero A, V. F., Duque Ch, C. M., Sepúlveda C, Y. A., & Montenegro G, S. P. (2019). *Capítulo 6 Secuestro y almacenamiento de carbono. Libros Universidad Nacional Abierta Y a Distancia*. <https://doi.org/https://doi.org/10.22490/9789586516358.06>
- Vashum, K. T., & Jayakumar, S. (2012). Methods to Estimate Above-Ground Biomass and Carbon Stock in Natural Forests - A Review. *Ecosystem and Ecography*, 2(4), 2–4.
- Vieilledent, G., Vaudry, R., Andriamanohisoa, S. F. ., Rakotonarivo, O. ., Randrianasolo, H. ., Razafindrabe, H. ., Rakotoarivony, C. B., Ebeling, J., & Rasamoelina, M. (2012). A universal approach to estimate biomass and carbon stock in tropical forests using generic allometric models. *Ecological Applications*, 22(2), 572–583.
- Vijayakumar, D. B. I. P., Raulier, F., Bernier, P., Gauthier, S., Bergeron, Y., & Pothier., D. (2016). Cover density recovery after fire disturbance controls landscape aboveground biomass carbon in the boreal forest of eastern Canada. *For. Ecol.*



- Manage.* 360:170–180.
- Vinueza.M. (2012). *Ficha Técnica N° 7: Balsa*. Ecuaforestal.
- Walker, S. M., Murray, L., & Tepe, T. (2016). *Allometric equation evaluation guidance document*.
- Whitehead, D. (2011). Forests as carbon sinks—benefits and consequences. *Tree Physiology*, 31(9), 893–902.
- Yepes-Mayorga, A. (2012). Cambio climático: Estrategias de gestión con el tiempo en contra. *SciELO*, 16(1), 77–92.
- Aguirre F, P. H. (2010). *Fomulacion del plan de manejo forestal para el centro de transferencia y desarrollo de tecnologias*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Aguirre M, Z., Loja Ch, A. F., Solano A, C., & Aguirre M, N. (2015). *Especies forestales mas utilizadas en la region sur del Ecuador* (UNL).
- Ahirwal, J., Maiti, S. K., & Singh, A. K. (2017). (2017). Changes in ecosystem carbon pool and soil CO<sub>2</sub> flux following post-mine reclamation in dry tropical environment, India. *Science of the Total Environment*.
- Belezaca, P. C., Calle, G. D., Prieto, B. O., López, T. R., E., S. A., & Meza, B. F. (2019). Hongos formadores de micorriza arbuscular asociados a plantaciones de *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb. (balsa) en el Trópico Húmedo Ecuatoriano. *Ciencia y Tecnologia UTEQ*, 12(1), 57–63. <https://doi.org/https://doi.org/10.18779/cyt.v12i1.312>
- Castillo, Y. I., González, R. ., Hervis, G., Hirán, R. L., & Cisneros, Z. . (2020). Impacto del cambio climático en el rendimiento del maíz sembrado en suelo Ferralítico Rojo compactado. *Ingeniería Agrícola*, 10(1), 2–11.
- CEPSA. (2015). *El cambio climático y los gases de efecto invernadero (GEI) en Cepsa*. [https://www.cepsa.com/stfls/CepsaCom/Coorp\\_Comp/Medio Ambiente\\_Seguridad\\_Calidad/Articulos/Dossier-Cambio-Climatico-y-GEI.pdf](https://www.cepsa.com/stfls/CepsaCom/Coorp_Comp/Medio Ambiente_Seguridad_Calidad/Articulos/Dossier-Cambio-Climatico-y-GEI.pdf)
- Diédhiou, A. ., Diallo, D., Mbengue, A. ., Hernandez, R. ., Bayala, R., Diémé, R., Diédhiou, P. ., & Sèn, A. (2017). Allometric equations and carbon stocks in tree biomass of *Jatropha curcas* L. in Senegal's Peanut Basin. *ELSEVIER*, 9, 61–69.
- Douterlungne, D., Herrera, G. A. M., Ferguson, B. G., Siddique, I., & Soto, P. (2013). Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono de cuatro especies leñosas neotropicales con potencial para la restauración. *Agrociencia*.
- DPECC. (2020). *Ciencia del cambio climático 2020: Presente y Futuro* (Iberdrola).

- Expreso. (2021). *La balsa, el nuevo oro de la discordia*.  
<https://www.expreso.ec/actualidad/balsa-nuevo-oro-discordia-103282.html>
- Francis, J. (1991). *Ochroma pyramidale* Cav. Balsa. In *Departamento de Agricultura* (Forest Ser).
- GAD, S. A. (2019). *Situación geográfica*. <http://archivo.santaana.gob.ec/santaana/situacion-geografia/>
- García-García, D., García-Mosqueda, G., & Jiménez-Pérez, J. (2019). Carbono y dióxido de carbono almacenado en una plantación de *Tectona grandis* de 4 y 5 años de edad en México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 15(1), 28–34.
- Gonzales, B., Simba, L., & Oviedo, B. (2018). Un cultivo resiliente para enfrentar el cambio climático, la balsa (*Ochroma pyramidale* sw). *Revista Ciencia & Tecnología*, 18(20), 88–100.
- González, O. B., Oviedo, B. B., & Simba, O. . (2018). Un cultivo resiliente para enfrentar el cambio climático, la balsa (*Ochroma pyramidale* sw). *Revista Científica Ciencia y Tecnología*, 18(20), 88–100. <https://doi.org/10.47189/rcct.v18i20.226>
- González O, B., Cervantes M, X., Torres N, E., Sánchez F, C., & Simba, L. (2010). Caracterización del cultivo de balsa (*Ochroma pyramidale*) en la provincia de Los Rios- Ecuador. *Ciencia y Tecnología*, 3(2), 7–11.
- Grupo Banco Mundial. (2020). *Situación y tendencias de la fijación del precio al carbono*.
- Hernández-Ramos, J., De los Santos-Posadas, H. ., Valdez-Lazalde, J. ., Tamarit-Urias, J. ., Ángeles-Pérez, G., Hernández-Ramos, A., Peduzzi, A., & Carrero, O. (2017). Biomasa aérea y factores de expansión en plantaciones forestales comerciales de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. *Agrociencia*, 51(8), 921.
- Hetland, J., Yowargana, S., Leduc, S., & Kraxner, F. (2016). Carbon-negative emissions: systemic impacts of biomass conversion: a case study on CO2 capture and storage options. *Int. J. Greenhouse Gas Control* 49:330–342.
- Honorato S, J. A., Hernández C, G., Apolinar H, F., & Aburto, J. (2015). Principales componentes químicos de la madera de *Ceiba pentandra*, *Hevea brasiliensis* y *Ochroma pyramidale*. *Madera y Bosques*, 21(2), 131–146.
- IPCC. (2019). *Calentamiento global de 1,5°C: Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto in* (V. Masson-Delmotte, H. Pörtner, J. Skea,

- P. Zhai, D. Roberts, P. Shukla, A. Pirani, R. Pidcock, Y. Chen, W. Moufouma-Okia, S. Connors, X. Zhou, C. Péan, J. Robin, M. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, & T. Waterfield (eds.)).
- Jew, E. K. K., Dougill, S. M. S., Connell, J., & Benton, T. G. (2016). Miombo woodland under threat: consequences for tree diversity and carbon storage. *For. Ecol. Manage.* 361:144–153.
- Kim G, G. (2013). The Impact of Climate Change on the Agricultural Sector: Implications of the Agro-Industry for Low Carbon, Green Growth Strategy and Roadmap for the East Asian Region. *KOIKA*, 1–51.
- Kohl, M., Neupane, P. R., & Lotfiomran, N. (2017). The impact of tree age on biomass growth and carbon accumulation capacity: A retrospective analysis using tree ring data of three tropical tree species grown in natural forests of Suriname. *PLOS ONE*, 12(8), e0181187.
- Kweku, D. W., Bismark, O., Maxwell, A., Desmond, K. A., Danso, K. B., Oti-Mensah, E. A., Quachie, A. T., & Adormaa, B. B. (2017). Greenhouse effect: Greenhouse gases and their impact on global warming. *Journal of Scientific Research & Reports*, 17(6), 1–9.
- Lapeyre, T., Alegre, J., & Arévalo, L. (2016). Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en san martín, Perú. *Ecología Aplicada*. <https://doi.org/10.21704/rea.v3i1-2.269>
- López-Reyes, L. Y., Domínguez-Domínguez, M., Martínez-Zurimendi, P., Zavala-Cruz, J., Gómez-Guerrero, A., & Posada-Cruz, S. (2016). Carbono almacenado en la biomasa aérea de plantaciones de hule (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.) de diferentes edades. *Madera y Bosques*, 22(3), 49–60. <https://doi.org/https://doi.org/10.21829/myb.2016.2231456>
- López, H. G., Vaides, E. E., & Alvarado, A. (2018). Evaluación de carbono fijado en la biomasa aérea de plantaciones de teca en Chahal, Alta Verapaz, Guatemala. *Agronomía Costarricense*, 42(1), 137–153. <https://doi.org/10.15517/rac.v42i1.32201>
- MAE, & FAO. (2014). *Propiedades anatómicas, físicas y mecánicas de 98 especies forestales*.
- Mohammed, A., Li, J., Elaru, J., Elbashier, M. M. A., Keesstra, S., Artemi, C., Martin, K., Reuben, M., & Teffera, Z. (2018). Assessing drought vulnerability and adaptation among farmers in Gadaref region, Eastern Sudan. *Land Use Policy*, 70, 402–413.

<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.11.027>

- Mora, A. (2015). *Valoración económica de las plantaciones de teca (tectona grandis) y balsa (ochroma pyramidale) en tres cantones del Litoral Ecuatoriano. [Tesis de grado, Universidad técnica estatal de quevedo facultad de ciencias agrarias escuela de economía agrícola]*. Universidad técnica estatal de quevedo facultad de ciencias agrarias escuela de economía agrícola.
- Morá, C. y A. de E. (2020). *¿Qué cambia cuando cambia el clima?* (MRP). <https://doi.org/http://www.ecologistasenaccion.org/>
- Moreno, H. (2020). Las emisiones de gases de efecto invernadero en tiempos de Covid-19. *Universitarios Potosinos*, 16–21.
- Núñez, C. A., González, M., & Saura, L. . (2015). Proceso de recuperación de CO<sub>2</sub>. Generalidades. *ICIDCA : Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar*, 49(2), 24–32.
- Oshiro Ch, M. (2016). *Ficha estándar de familia del catálogo de bienes, servicios y obras del mef*.
- Penman, J., Gytarsky, M., Hiraiishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Tanabe, K. (2003). *Good practice guidance for land use, land-use change and forestry*. Institute for Global Environmental Strategies.
- Rontard, B., Reyes H, H., & Aguilar R, M. (2020). Pagos por captura de carbono en el mercado voluntario en México: diversidad y complejidad de su aplicación en Chiapas y Oaxaca. *Sociedad y Ambiente*. <https://doi.org/10.31840/sya.vi22.2106>
- Sáenz, R. J. T., Rueda, S. A., Solorio, Benavides, S. J., Muñoz, F. H. J., Castillo, Q. D., & Sáenz, C. J. . (2021). Ecuaciones alométricas, biomasa y carbono en plantaciones forestales tropicales en la costa de Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(65), 27–44. <https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i65.856>
- Salas, M. C. A., Montes, E. K., Sánchez, S. G., Alcívar, C. W., Murillo, C. A., Vera, C. F., Bolcato, B. D., & Iglesias-Abad, S. (2020). Influencia del gradiente altitudinal sobre la estimación del carbono almacenado en biomasa aérea viva y en suelos del “Bosque y vegetación protector El Artesan - EcuadorianHands”. *Joa, Jipijapa. Ecosistemas*, 29(2), 1973. <https://doi.org/https://doi.org/10.7818/ECOS.1973>
- Sánchez, C. (2016). Evolución del concepto de cambio climático y su impacto en la salud pública de Perú. *Scielo*, 33(1), 128–138.
- SEMARNAT, (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos naturales). (2018). *Acuerdo por el que se establecen las bases preliminares del programa de prueba del sistema*

*de comercio de emisiones.*

- Sione, S. M. J., Ledesma, S. G., Rosenberger, L. J., Oszust, J. D., Andrade, H. J., Maciel, G. O., & Wilson, M. G. (2020). Modelos alométricos de biomasa aérea para *Vachellia caven* Mol. Molina en bosques nativos del Espinal (Argentina). *Quebracho*, 20(1,2), 20–33.
- SNI. (2014). *Caracterización biofísica del cantón Santa Ana*. [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdiagnostico/santaana-fasediagnosticopreliminar\\_15-11-2014.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/santaana-fasediagnosticopreliminar_15-11-2014.pdf)
- Somarriba, E., Cerda, R., Orozco, L., Cifuentes, M., Dávila, H., Espin, T., Mavisoy, H., Ávila, G., Alvarado, E., Poveda, V., Astorga, C., Say, E., & Deheuvels, O. (2013). Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central America. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 173(4), 45–57. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.04.013>
- Subsecretaría de Gestión Ambiental. (2020). *¿Qué es el Cambio Climático?*
- Telles, R., Alanís, E., Jiménez, J., Aguirre, O., & Treviño, E. (2020). Estimación de carbono acumulado en *Gmelina arborea* Roxb. en Tlatlaya, Estado de México mediante ecuaciones alométricas. *SciELO*, 10(55). <https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i55.593>
- Valderrama L, C. F., Castillo V, J. A., Torres R, J. C., Guzmán L, A. R., Forero A, V. F., Duque Ch, C. M., Sepúlveda C, Y. A., & Montenegro G, S. P. (2019). *Capítulo 6 Secuestro y almacenamiento de carbono. Libros Universidad Nacional Abierta Y a Distancia*. <https://doi.org/https://doi.org/10.22490/9789586516358.06>
- Vashum, K. T., & Jayakumar, S. (2012). Methods to Estimate Above-Ground Biomass and Carbon Stock in Natural Forests - A Review. *Ecosystem and Ecography*, 2(4), 2–4.
- Vieilledent, G., Vaudry, R., Andriamanohisoa, S. F. ., Rakotonarivo, O. ., Randrianasolo, H. ., Razafindrabe, H. ., Rakotoarivony, C. B., Ebeling, J., & Rasamoelina, M. (2012). A universal approach to estimate biomass and carbon stock in tropical forests using generic allometric models. *Ecological Applications*, 22(2), 572–583.
- Vijayakumar, D. B. I. P., Raulier, F., Bernier, P., Gauthier, S., Bergeron, Y., & Pothier., D. (2016). Cover density recovery after fire disturbance controls landscape aboveground biomass carbon in the boreal forest of eastern Canada. *For. Ecol. Manage.* 360:170–180.
- Vinueza.M. (2012). *Ficha Técnica N° 7: BALSA*. Ecuaforestal.

- Walker, S. M., Murray, L., & Tepe, T. (2016). *Allometric equation evaluation guidance document*.
- Whitehead, D. (2011). Forests as carbon sinks—benefits and consequences. *Tree Physiology*, *31*(9), 893–902.
- Yepes-Mayorga, A. (2012). Cambio climático: Estrategias de gestión con el tiempo en contra. *Scielo*, *16*(1), 77–92.

## 9. Anexos



**Anexo 1:** Instalación de parcelas de muestreo.



**Anexo 2:** Medida de individuos DAP.



**Anexo 3.** Determinación del altura total.



**KoBo Toolbox**

Ochroma pyramidale	
Finca	Finca 1
Punto centro parcela	-1.21168 -80.395531 63.471485531756656 8.833
Árbol #	1
DAP (cm)	8.8
Altura (m)	10.0
Salir	

**Anexo 4.** Herramienta digital Kobo Toolbox utilizada para la toma de datos de inventario en campo.