



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**ESTRATEGIAS PARA LA REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN  
EL CICLO DE PRODUCCIÓN DE CACAO (THEOBROMA CACAO) EN LA FINCA  
SANTA CRUZ, EN PUERTO QUITO.**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniero e Ingeniera Ambiental**

**AUTORES: JEREMMY ALEXANDER ARMAS ROSERO**

**JESSICA PATRICIA GUALOTUÑA PAUCAR**

**TUTOR: CARLOS ANDRÉS ULLOA VACA**

**Quito - Ecuador**

**2023**

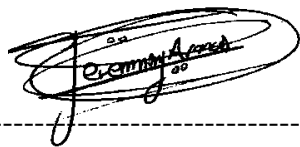
**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Nosotros, Jeremmy Alexander Armas Rosero con documento de identificación N°171726046947 y Jessica Patricia Gualotuña Paucar con documento de identificación N° 1719460428; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

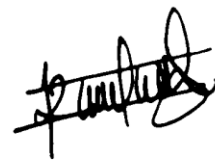
Quito, 07 de Septiembre del año 2023

Atentamente,



Jeremmy Alexander Armas Rosero

1726046947



Jessica Patricia Gualotuña Paucar

1719460428

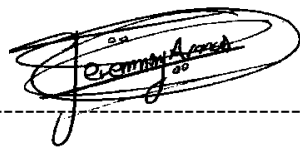
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Jeremmy Alexander Armas Rosero con documento de identificación N°1726046947 y Jessica Patricia Gualotuña Paucar con documento de identificación N°1719460428, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo Experimental: “Estrategias para la reducción de la huella de carbono en el ciclo de producción de cacao (*Theobroma cacao*) en la finca Santa Cruz, en Puerto Quito”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Ambientales en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

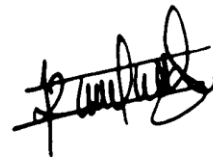
Quito, 07 de Septiembre del año 2023

Atentamente,



Jeremmy Alexander Armas Rosero

1726046947



Jessica Patricia Gualotuña Paucar

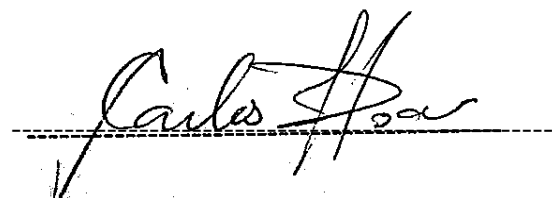
1719460428

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Carlos Andrés Ulloa Vaca con documento de identificación N° 1716457971, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **ESTRATEGIAS PARA LA REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN EL CICLO DE PRODUCCIÓN DE CACAO (THEOBROMA CACAO) EN LA FINCA SANTA CRUZ, EN PUERTO QUITO**, realizado Jeremmy Alexander Armas Rosero con documento de identificación N°17 y Jessica Patricia Gualotuña Paucar con documento de identificación N°1719460428, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 07 de Septiembre del año 2023

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Carlos Ulloa', is written over a horizontal dashed line.

Bioq. Carlos Andres Ulloa Vaca Msc.

1716457971

## **DEDICATORIA**

A mis padres y mi hermana porque han sido el pilar fundamental a lo largo de este camino, por siempre brindarme su apoyo y levantarme en cada tropiezo. Los amo infinitamente.

**Jessica**

## **DEDICATORIA**

Yo, Jeremmy Armas dedico este trabajo a mis amados padres, los cuales han sido una luz y fortaleza en un largo camino. Su dedicación, amor incondicional y sacrificio han sido los cimientos sobre la cual he construido mis logros. La confianza en mí ha sido el impulso que necesitaba para superar cada obstáculo y alcanzar metas más allá de mis propias expectativas. Mi éxito no sería posible sin ustedes a mi lado, y es con humildad y gratitud que dedico este logro a mis héroes, mis queridos padres.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mis padres, Mónica y Patricio por apoyarme incondicionalmente y creer en mí ya que gracias a su esfuerzo, sacrificio y amor me impulsan a ser cada día mejor y cumplir mis metas siendo los principales promotores de mis sueños.

A mi hermana, Alejandra gracias por ser mi compañera de aventuras y estar presente en cada momento de mi vida

A Fer S., por su apoyo y palabras de aliento brindados en esta etapa y en especial por su aporte dentro de este proyecto.

A mis amigos y personas que a lo largo de esta etapa supieron brindarme su apoyo

A todos los docentes que fueron parte de nuestra formación académica dentro de la UPS, gracias por su aporte y conocimientos en especial a nuestro querido tutor Bioq. Carlos Ulloa quien fue parte importante de nuestra investigación en este proceso académico.

**Con cariño, Jessica**

## **AGRADECIMIENTO**

Yo, Jeremmy Armas agradezco a mis padres, Ramiro Armas y Doris Rosero por ser la fortaleza a lo largo de mi vida, por confiar en mí y ser el respaldo incondicional me han dado la confianza para enfrentar cada desafío y superarlos, por su apoyo emocional, paciencia y comprensión han sido mi fortaleza en momentos difíciles. Esta tesis es el resultado de todo el amor y apoyo, por eso quiero agradecerles de corazón. Sin ustedes no sería esto posible.

A nuestro querido tutor Carlos Ulloa, quiero expresar mi gratitud por su orientación y dedicación en este proceso académico. Su experiencia y conocimiento han sido importantes en este proceso de investigación. Gracias por compartir su tiempo, experiencia con nosotros, por sus comentarios y sugerencias constructivas han aportado enormemente en nuestro trabajo. Agradecido por su mentoría y apoyo en esta travesía académica.



## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	2
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	3
<b>1.1. ANTECEDENTES</b> .....	3
<b>1.2. JUSTIFICACIÓN</b> .....	4
<b>1.3. OBJETIVOS:</b> .....	6
<b>1.3.1. GENERAL</b> .....	6
<b>1.3.2. ESPECIFICOS</b> .....	6
<b>2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	7
<b>2.1. Marco Teórico</b> .....	7
<b>2.1.1. Producción de cacao en el ecuador.</b> .....	7
<b>2.1.2. Cambio climático</b> .....	7
<b>2.1.3. Efecto Invernadero</b> .....	8
<b>2.1.4. Huella de Carbono</b> .....	8
<b>2.1.5. Desechos de la producción del cacao</b> .....	9
<b>2.1.6. El carbono en Ecosistemas Forestales</b> .....	9
<b>2.1.7. Gases de efecto invernadero (GEI)</b> .....	10
<b>2.1.8. Factores de emisión (FE)</b> .....	10
<b>2.1.9. Diámetro a la altura de pecho (DAP)</b> .....	10

<b>3. MATERIALES Y METODOS .....</b>	<b>12</b>
<b>3.1. Materiales .....</b>	<b>12</b>
<b>3.2. Procedimiento para muestreo .....</b>	<b>12</b>
<b>3.3. Ubicación y Descripción del área de estudio.....</b>	<b>12</b>
<b>3.4. Recolección de información.....</b>	<b>13</b>
<b>3.5. Clasificación de tratamientos .....</b>	<b>13</b>
<b>3.6. Estimación de las emisiones de GEI en el Procesamiento de Cacao .....</b>	<b>13</b>
<b>3.7. Calculo para el almacenamiento de carbono en la biomasa .....</b>	<b>14</b>
<b>3.8. Cálculo de la Huella de Carbono .....</b>	<b>15</b>
<b>3.9. Variables a Estudiar .....</b>	<b>16</b>
<b>3.10. Análisis Estadístico .....</b>	<b>16</b>
<b>3.11. Tipo de investigación .....</b>	<b>17</b>
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>18</b>
<b>4.1. Características de los tratamientos en la finca Santa Cruz en Puerto Quito .....</b>	<b>18</b>
<b>4.2. Biomasa arriba y debajo del suelo de los tratamientos.....</b>	<b>19</b>
<b>4.3. Biomasa total de los tratamientos .....</b>	<b>19</b>
<b>4.4. Tasa de fijación de carbono en los tratamientos .....</b>	<b>23</b>
<b>4.5. Emisión de gases de efecto invernadero en el cultivo y producción del cacao .....</b>	<b>24</b>
<b>4.5.1. Emisiones de GEI por combustibles fósiles.....</b>	<b>24</b>
<b>4.5.2. Emisiones de GEI por energía eléctrica .....</b>	<b>24</b>
<b>4.5.3. Emisiones de GEI por residuos .....</b>	<b>25</b>
<b>4.5.4. Emisiones de GEI por el consumo de agua .....</b>	<b>26</b>

4.5.5.	Emisiones de GEI por el uso de fertilizantes .....	26
4.6.	Estrategias para reducir la huella de carbono del cultivo y la producción cacao .....	30
4.6.1.	Implementación de sistemas agroforestales (SAF) .....	30
4.6.2.	Implementación de Análisis del Ciclo de vida .....	31
4.6.3.	Estrategias de reducción de las emisiones de generación eléctrica .....	31
4.6.4.	Estrategias de reducción de las emisiones por consumo de agua .....	32
4.6.5.	Estrategias de reducción de las emisiones por transporte de mercancía .....	32
4.6.6.	Estrategias de reducción de las emisiones por residuos sólidos .....	32
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	33
5.1.	Conclusiones .....	33
5.2.	Recomendaciones .....	33
6.	ANEXOS .....	35
7.	BIBLIOGRAFIA .....	36

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.....	14
TABLA 2.....	16
TABLA 3.....	18
TABLA 4.....	23
TABLA 5.....	29

## ÍNDICE DE FIGURAS

IMAGEN 1 .....	20
IMAGEN 2 .....	20
IMAGEN 3 .....	21
IMAGEN 4 .....	21
IMAGEN 5 .....	22
IMAGEN 6 .....	22
IMAGEN 7 .....	28

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO 1</b> <i>RECONOCIMIENTO DEL ÁREA DE ESTUDIO</i> .....	35
<b>ANEXO 2</b> <i>DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</i> .....	35
<b>ANEXO 3</b> <i>MEDICIÓN DE LA ALTURA DE LOS ARBOLES</i> .....	35

## RESUMEN

Durante los últimos años son más visibles el cambio climático y sus efectos que están estrechamente relacionada directamente con la contaminación ambiental, uno de los factores principales es la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) que contribuyen al aumento de temperatura total del planeta. Ante esta situación y debido a la preocupación científica, nace una herramienta para el cálculo del impacto ambiental a través de la huella de carbono.

El presente trabajo experimental llegó a estimar la generación de huella de carbono en el cultivo y producción de cacao (*Theobroma cacao*) cuantificando las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y su tasa de fijación mediante métodos alométricos y la utilización de Factores de emisión de los procesos que tienen lugar en la finca Santa Cruz.

En la obtención de los resultados, se logró concluir, en la finca estudiada, los sistemas Agroforestales asociados con especies maderables son los que mayor captación de carbono registran. Además, una vez determinada la huella de carbono se pudo establecer un plan estratégico en la reducción de las emisiones en cada una de las distintas actividades para el cultivo y producción en la finca.

**Palabras Clave:** Huella de carbono, gases de efecto invernadero, cacao, dióxido de carbono, contaminación, carbono.

## ABSTRACT

During the last few years, the effects of climate change are more visible and have a direct relationship with environmental pollution, as they are increasing, one of the main factors are the greenhouse gases which contribute to the increase in global temperature, in this situation a tool for the calculation and quantification of the environmental impact through the carbon footprint is born.

The present experimental work came to determine the carbon footprint generated by the cultivation and production of cocoa (*Theobroma cacao*), quantifying the carbon dioxide emissions and its fixation rate through allometric methods and the use of emission factors of the processes that take place in the Santa Cruz farm.

In view of the results obtained, it is defined that the agroforestry systems associated with timber species are the ones with the highest carbon sequestration in the farm studied. In addition, once the carbon footprint was determined, it was possible to establish a strategic plan for the reduction of emissions in each of the different activities for cultivation and production on the farm.

**Key words:** Carbon footprint, greenhouse gases, cocoa, carbon dioxide, pollution, carbon.



# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. ANTECEDENTES

La huella de carbono es esencial para entender las emisiones de gases de efecto invernadero debido a la producción y consumo de bienes. Aunque se busca reducir las emisiones según el Protocolo de Kyoto, que está en continuo aumento. (Schneider & Samaniego, n.d.)

La preocupación climática reciente tiene su fundamento en la emisión GEI, como CO<sub>2</sub> liberados al ambiente por acciones humanas contribuyendo con la contaminación ambiental por distintos factores: demanda de alimentos, uso de plaguicidas y fertilizantes provocando cambios en la atmósfera con efectos específicamente en el clima, se evidencian estos eventos extremos como nevadas en desierto, olas de calor, lluvias torrenciales.

La comunidad mundial busca tecnologías para reducir el cambio climático y otros impactos como la biodiversidad, la desertificación y la escasez de agua global. Las herramientas de medición del impacto al ambiente son: la huella de carbono ecológica que ha surgido debido a las emisiones diarias.

La huella se ve reflejada por las emisiones directas de los GEI por la producción y consumo humano. Esto abarca no solo el CO<sub>2</sub>, esto comprende las emisiones más complejas a lo largo del ciclo de vida, desde las materias primas y su destino final. (Schneider & Samaniego, n.d.).

La agricultura causa el 13% de emisiones mundiales debido al cambio en el uso del suelo que representa, siendo la responsable de la séptima parte de las emisiones globales de GEI. (Frohmann & Olmos, 2013)

## 1.2.JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, el calentamiento global conforma un gran desafío debido a que se ha convertido en una amenaza al planeta producto de en su mayoría actividades antropogénicas es por ello que ante esta situación nace como una medida para cuantificar y una herramienta de cálculo las emisiones de GEI denominada huella de carbono.

Durante las reuniones con las naciones unidas se presentaron resultados de estudios parciales que se centran en cultivos como cacao, el café, el banano, la uchuva, la Stevia, el camarón y el aceite de palma. Estos estudios utilizan datos proporcionados de 40 empresas de los cuatro países del proyecto *“Huella de carbono y exportaciones de alimentos”*, bajo la coordinación de la División de Comercio Internacional e Integración de la CEPAL. (CEPAL, 2013)

La huella de carbono mide el impacto ambiental de nuestras actividades, incluyendo la quema de combustibles para energía, calefacción y transporte. Se expresa en ton CO<sub>2</sub> eq de GEI por la actividad diaria. (Schneider, 2010)

En estudios recientes de huella de carbono en el sector cacaotero se ha demostrado que en la fase de cultivo supera el 80% del total, mientras que el 20% restante es en la fase de postcosecha. (Pro Ecuador, 2016)

El aumento causado por el consumo ha generado graves impactos ambientales, como cambio climático, tierras improductivas, deforestación y extinción de especies, etc. La demanda de productos a nivel global, ha llevado la excesiva explotación de la tierra y se acerca al límite de su abastecimiento a la población. (Manzo, 2018)

Debido a estos precedentes dentro de esta investigación se enfoca en la determinación de la huella de carbono en la cosecha y producción cacaotera de la finca Santa Cruz en Puerto Quito, con la finalidad de generar medidas y estrategias que eviten o disminuyan GEI.

Los aportes que pretende contribuir esta investigación a la sociedad es desarrollar actividades de carácter informativo a los diferentes sectores dando a conocer ventajas y desventajas de la gestión de emisiones de GEI para que investigaciones futuras se tome en cuenta el uso de producción más limpia, de energías limpias para poder tener un ambiente más sostenible y con menos contaminación.

### **1.3.OBJETIVOS:**

#### **1.3.1. GENERAL**

- Determinar la huella de carbono que genera el cultivo y producción de cacao, cuantificando las emisiones producidas en la finca Santa Cruz, para el planteamiento de estrategias que permitan la disminución de sus emisiones.

#### **1.3.2. ESPECIFICOS**

- Evaluar la cantidad de CO<sub>2</sub> retenida en la biomasa arriba y abajo del suelo, por medio de la medición del diámetro y altura de las plantas de cacao, para llevar el análisis de fijación del cultivo de cacao en Puerto Quito.
- Cuantificar las emisiones de CO<sub>2</sub> que genera la producción de cacao desde su cultivo hasta su procesamiento, por balances de masa y energía, descubriendo la cantidad de contaminación que produce su proceso.
- Generar un plan estratégico para la reducción de la huella de carbono en la finca cacaotera, mediante el análisis de las emisiones generadas en el cultivo de cacao, para beneficios de la finca y del medio ambiente.

## 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 2.1.Marco Teórico

#### 2.1.1. Producción de cacao en el ecuador.

Ecuador es catalogado dentro de los mayores productores de cacao fino y de aroma del mundo con un porcentaje del 75%, ya que produce alrededor de 60 a 70 mil toneladas al año, lo cual representa poco más de la mitad de la producción mundial. (Villamar et al., 2016).

*“Los cultivos de cacao en el Ecuador, están distribuidos de la siguiente manera: (70%) pequeños productores, (20%) medianos productores y (10%) grandes productores”*.(ANECACAO, 2019).

#### 2.1.2. Cambio climático

Expertos en todo el mundo han abordado el cambio climático concluyendo que es causado tanto por factores naturales como por acciones humanas.(Díaz Cordero, 2012).

Entonces, ¿Qué significa el cambio climático? Es una alteración en el clima, la cual es causada por la actividad humana, que trastoca la dinámica de la atmosfera y se suma a las variaciones naturales a lo largo del tiempo. En general, *“el cambio climático”* se relaciona con acciones humanas, mientras que *“Variabilidad climática”* relaciona el cambio natural.(García Fernández, 2011)

### **2.1.3. Efecto Invernadero**

El efecto invernadero es donde ciertos gases de la atmosfera capturan una porción de la energía irradiado por la superficie terrestre, tras calentarse por el sol. (Federación de Enseñanza de CC.OO. de Andalucía, 2010).

La atmosfera terrestre contiene gases como O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> y Ar, estos son transparentes a la radiación infrarroja. Otros gases, como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, O<sub>3</sub> y vapor de agua, absorben y emiten este tipo de radiación, creando el conocido efecto invernadero al atrapar parte de la energía del sol en la atmosfera.(Power Porto George, 2009).

Las los niveles GEI en la atmosfera han incrementado a consecuencia de actividades antropogénicas (GEI; CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O) este incremento es más significativo desde 1750. El incremento de CO<sub>2</sub> a nivel global principalmente, esto se debe al aumento en el uso de combustibles y modificación del uso de la tierra. Los gases CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O provienen en mayor parte de la agricultura, estas acciones representan 13,5% de las emisiones mundiales de GEI.(Andrade Hernán et al., 2015).

### **2.1.4. Huella de Carbono**

La huella de carbono es el registro de emisiones de GEI, principalmente CO<sub>2</sub>, liberado por empresas en el ciclo de vida de un producto.

Se cuantifica en ton CO<sub>2</sub> eq para unificar las emisiones de varios GEI en una sola unidad. El cálculo CO<sub>2</sub>eq se multiplica los GEI de los seis gases por su potencial de calentamiento global.(Frohmann & Olmos, 2013).

Medir la huella de un producto llevando un listado de gases de efecto invernadero de una empresa implica contabilizar las emisiones de cada uno de los procesos que se llevan directa o

indirectamente, para realizar diagnósticos del desempeño ambiental y reducir emisiones, contribuyendo de esta forma a la mitigación del cambio climático.

#### **2.1.5. Desechos de la producción del cacao**

Durante la fase de obtención de cacao, se producen desechos como cascara, conocida como vaina y mucilagos, ambos con importancia comercial y agrícola, ya que la cáscara por su composición porcentual de: Lignina 35%, celulosa 30% y hemicelulosa 10%, extractos 25%, son una fuente de carbono importante, además cuando la cascara se vuelve ceniza contiene óxido de potasio 52%-70% son fuente de este mineral. El valor de calentamiento de la cáscara es de 17 a 22 MJ Kg-1., lo que convierten a este residuo en un verdadero insumo para ser utilizado como fertilizante o en procesos termoquímicos (Delgado, 2018).

#### **2.1.6. El carbono en Ecosistemas Forestales**

Según (Quintero, 2016) los sistemas forestales y agroforestales acumulan carbono en cuatro componentes:

Según (Rojas & Bahamondez, 2021) la Biomasa aérea es: materia orgánica en forma de plantas y árboles, tanto leñosos como herbáceos, que se encuentran en la superficie, abarcando troncos, raíces, ramas, piel, semillas y hojas.

Según (Rojas & Bahamondez, 2021) la Madera muerta (necromasa) es: La madera muerta abarca toda la biomasa no viva de los árboles, tanto en pie como en el suelo, incluyendo troncos caídos y raíces muertas, junto con cepas de 10 cm de diámetro.

Según (IPCC, 2015) la Biomasa abajo del suelo se refiere a toda la vida vegetal subterránea, excluyendo a las raíces delgadas menores de 2 mm que a menudo no se distinguen de la materia orgánica del suelo.

#### **2.1.7. Gases de efecto invernadero (GEI)**

Los GEI son compuestos que, debido a su estructura química, capturan energía del suelo después de ser calentados por los rayos solares.(Ihope S.A., 2013).

Varios estudios indican que los GEI se intensifican en la tierra debido a la liberación de gases como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, principales causantes del calentamiento.(Sosa & García, 2019)

#### **2.1.8. Factores de emisión (FE)**

El factor de emisión es un valor que relaciona la cantidad de contaminante liberado a la atmosfera con una actividad específica y el contaminante en cuestión.

Los factores de emisor son valores utilizados para el cálculo de emisiones de GEI y otros contaminantes en distintos sectores como pueden ser: agricultura, industria y transporte. Estos expresados en masa del contaminante dividido el peso, volumen, distancia o duración.(Hernández et al., 2022)

#### **2.1.9. Diámetro a la altura de pecho (DAP)**

Es el diámetro a la altura del pecho de un árbol, este método es estándar para la expresión del diámetro del tronco de un árbol en pie. El DAP se mide a la altura de 1,3 m sobre el terreno, es la medida más usada para la estimación de biomasa y el crecimiento de los árboles, también se



utiliza para medir la huella de carbono de procesos agrícolas, debido a que es un indicador de la cantidad que almacena el árbol y suelo.(Saket et al., 2004)

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1.Materiales

- GPS
- Libreta de campo
- Cinta métrica
- Cinta de señalización
- Celular inteligente (clinómetro Forestal)
- Cámara fotográfica
- Computadora

#### 3.2.Procedimiento para muestreo

Para calcular la huella de carbono, se usarán modelos alométricos similares a investigaciones pasadas. Las raíces se evaluarán con el modelo del IPCC según “*Cairns, Brown, Helmer, Baumgardner*” (1997). Para medir las emisiones de GEI en el cacao, se empleará análisis de masa y energía expresado en balance, tomando en consideración emisiones directas e indirectas.(Quintero, 2016)

#### 3.3.Ubicación y Descripción del área de estudio

Para la fase de cultivo y producción del trabajo experimental se desarrollará en la provincia de Pichincha en el cantón Puerto Quito, la cual es un sector aprovechado en la ganadería y la producción de cacao, naranja, mangostino y palma entre otra variedad de frutas tropicales (GAD Puerto Quito, 2020) específicamente en La finca “Santa Cruz” ubicada en el recinto Pueblo Nuevo,

la cual es una finca con un clima tropical húmedo que tiene una temperatura promedio anual de 25°C.

### **3.4.Recolección de información**

Se recogerá información a través de entrevistas realizadas a trabajadores y administradores de la finca sobre la acciones que se realizan dentro del sistema agrícola de la finca. Para determinar entradas y salidas de cada proceso del cacao en la finca se lo hará mediante un balance de masa y energía.

### **3.5.Clasificación de tratamientos**

Para la selección de tratamientos en la presente investigación de la finca “Santa Cruz” se empleará un diseño experimental donde los tipos de cultivo serán el factor de estudio compuesto por los tres tratamientos siguientes:

1. T1= Monocultivo de Cacao (*Theobroma Cacao*)
2. T2= Cultivo de cacao asociado con árboles maderables
3. T3= Cultivo de cacao asociado con árboles frutales

### **3.6.Estimación de las emisiones de GEI en el Procesamiento de Cacao**

(Yandún, 2018) nos dice que para “*determinar la huella de carbono en kg CO<sub>2</sub>eq de cada actividad del proceso agrícola se utilizará la siguiente ecuación:*”

**Ecuación:**

$$kgCO_2 eq = \text{datos de actividad} * \text{factor de emisión} * GWP$$

Los factores de emisión a utilizar serán los siguientes:

**Tabla 1**

*Factores de emisión que se utilizaran*

<b>Factores de emisión</b>	
<b>Transporte</b>	0,163 kg CO <sub>2</sub> /km
<b>Energía Eléctrica</b>	0,4597 kg CO <sub>2</sub> / KWh
<b>Agua</b>	0,083576 kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>3</sup>

*Nota: estos datos son del ministerio de transición ecológica del gobierno de España,*

*EPA, GHG Protocol.*

Para entender las emisiones del cacao, se debe analizar su proceso considerando energía, agua, combustibles, residuos y fertilizantes usados. También las emisiones agrícolas y el potencial de calentamiento global (GWP).

### **3.7.Calculo para el almacenamiento de carbono en la biomasa**

Para determinar la biomasa de arriba del suelo establecido en tres parcelas de 1 ha para cada uno de los tratamientos.

Para calcular la biomasa sobre el suelo en diferentes tratamientos, se requiere la altura total y el DAP de  $\geq 10$  cm. En caso del cacao se medirá el diámetro del tronco a 30 cm de altura y la altura total.(Segura & Andrade, 2008)

La biomasa arriba del suelo en el trazado de 3,8x3,8 para el cacao la cual se utilizó las siguientes ecuaciones.(Zavala Solórzano et al., 2019)

$$BA = 0,1184dap^{2,53}$$

**Donde:**

**BA:** Biomasa arriba del suelo(kg\*árbol-1)

**0,1184:** constante

**Dap:** Diámetro a la altura del pecho (cm)

**2,53:** constante

$$B = 10^{1,625+2,63*\log(d_{30})}$$

**Donde:**

**B:** Biomasa arriba del suelo(kg\*árbol-1)

**d<sub>30</sub>:** diámetro del tronco a 30 cm de altura (cm)

Según (María Q et al., 2016) para estimar la biomasa abajo del suelo o raíces se estimará por la siguiente ecuación.

$$Br = e^{(-1,0587+0,8836+Ln(Ba))}$$

**Donde:**

**Br:** es la biomasa abajo del suelo

**Ba:** biomasa arriba del suelo

### 3.8.Cálculo de la Huella de Carbono

La huella de carbono consiste en aplicar la siguiente formula:

$$\text{Huella de carbono} = \text{Dato actividad} * \text{Factor emisión}$$

**Donde:**

La actividad determina la intensidad de la actividad que produce emisiones de GEI, como la cantidad de gas natural usado en la calefacción (medido en kWh de gas natural).(Ministerio para la Transición Ecológica, 2017)

Factor de emisión indica cuantos GEI son emitidos por unidad, estos factores cambian según la actividad.(Ministerio para la Transición Ecológica, 2017)

La formula nos da una cantidad especifica (g, kg, etc..) de CO2 eq.

### 3.9. Variables a Estudiar

Dentro de la investigación experimental las variables para la estimación de la huella de carbono:

- kg CO2 equivalente agua
- kg CO2 equivalente energía
- kg CO2 equivalente combustible
- kg CO2 equivalente residuos
- kg CO2 equivalente fertilizantes
- Biomasa de cultivos arriba y abajo del suelo

### 3.10. Análisis Estadístico

Se realizó un diseño experimental de bloques al azar (DBCA) de tres tratamientos y tres repeticiones al azar.

**Tabla 2.**

*Tratamientos y Repeticiones*

<b>Tratamientos</b>			
<b>Repeticiones</b>	T1	T2	T3
<b>R1</b>			
<b>R2</b>			
<b>R3</b>			

### **3.11. Tipo de investigación**

El presente trabajo de investigación es del tipo descriptiva y experimental en lo que concierne al tema planteado sobre la determinación de huella de carbono en la finca Santa Cruz.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Características de los tratamientos en la finca Santa Cruz en Puerto Quito

Dentro de la tabla 3 se encuentran detallado los datos obtenidos de los tratamientos estudiados.

**Tabla 3.**

*Características generales de los tratamientos*

Tratamientos	Especies	Densidad de siembra (m)	Edad del cultivo (años)	Características Dasométricas	
				Alturas(m)	Dap (cm)
T1 Monocultivo de Cacao	*Cacao ( <i>Theobroma Cacao</i> )	75 árboles dentro de 1 ha con distancias de 3,8 X 3,8	8 - 10	2,39-3,54	15,60
T2 Cultivo de Cacao con Árboles maderables	*Cacao ( <i>Theobroma Cacao</i> ) *Melina ( <i>Gmelina arborea Roxb</i> )	43 árboles de Melina ( <i>Gmelina arborea Roxb</i> ) con distancias de 4 x 4 y 36 árboles de cacao ( <i>Theobroma Cacao</i> ) con distancias de 3,8 x 3,8 comprendidas en un área de 1 ha.	8 - 10	Melina ( <i>Gmelina arborea Roxb</i> ) 8,14-13,30 Cacao ( <i>Theobroma Cacao</i> ) 2,99-3,55	Melina ( <i>Gmelina arborea Roxb</i> ) 25,35 Cacao ( <i>Theobroma Cacao</i> ) 17,89
T3 Cultivo de Cacao con Árboles Frutales	*Cacao ( <i>Theobroma Cacao</i> ) *Pomarrosa ( <i>Syzygium jambos</i> ) *Banano ( <i>Musa paradisiaca</i> ) *Naranja ( <i>Citrus × sinensis</i> )	18 árboles frutales con distancias de 6 x 6 y 30 árboles de Cacao ( <i>Theobroma Cacao</i> ) con distancias de 3,8 x 3,8 comprendidas en un área de 1 ha.	8 - 10	Frutales 4,48-7,50 Cacao ( <i>Theobroma Cacao</i> ) 2,95-3,56	Frutales 20,66 Cacao ( <i>Theobroma Cacao</i> ) 14,96



#### **4.2. Biomasa arriba y debajo del suelo de los tratamientos.**

Dentro de los cálculos totales de la biomasa sobre el suelo, se recabaron los datos que se presentan a continuación en el tratamiento T1 Monocultivo de cacao (*Theobroma Cacao*) 27,25 ton/ha, para el T2 fue el cultivo de cacao (*Theobroma Cacao*) asociado a árboles maderables (*Gmelina arborea Roxb*) 131,59 ton/ha, y finalmente para el T3 que fue el cultivo de cacao (*Theobroma Cacao*) se asoció con árboles frutales: Pomarrosa (*Syzygium jambos*) Banano (*Musa paradisiaca*) Naranja (*Citrus × sinensis*) 79,97 ton/ha.

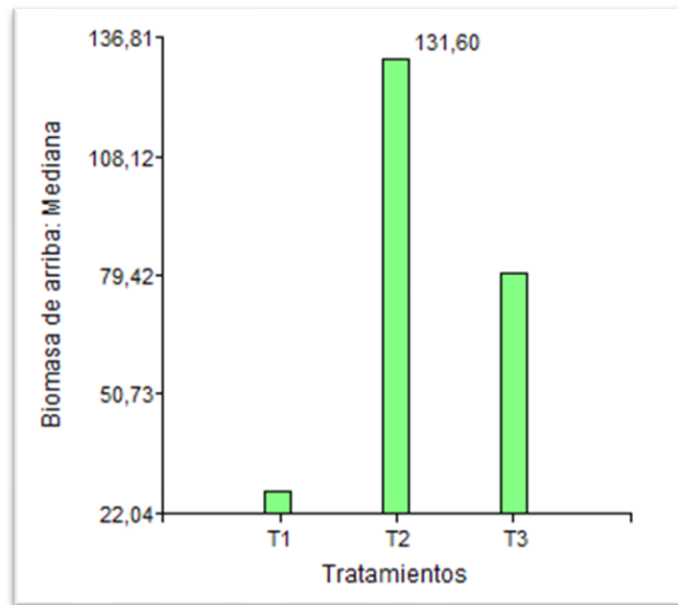
En los cálculos de la biomasa de abajo del suelo se demostró distintos valores de cada tratamiento. En el tratamiento uno (T1) de monocultivo de cacao, se obtuvo un valor de 5,39 ton/ha, para el tratamiento dos (T2) el de cultivo de cacao asociado con árboles maderables, donde se obtuvo un valor de 23,30 ton/ha, y en el tratamiento tres (T3) el de cultivo de cacao asociado con árboles frutales se obtuvo el valor de 15,04 ton/ha.

#### **4.3. Biomasa total de los tratamientos**

Los resultados obtenidos para la biomasa total: en el caso del primer tratamiento de monocultivo de cacao (*Theobroma Cacao*) el valor en un área de mil metros cuadrados es de 32,64 ton/ha, en el caso del segundo tratamiento de cultivo de cacao (*Theobroma Cacao*) asociado con árboles maderables (*Gmelina arborea Roxb*), el valor en un área de mil metros cuadrados es de 154,89 ton/ha, el tercer y último tratamiento de cacao el valor en un área de mil metros cuadrados asociado con árboles frutales (Pomarrosa (*Syzygium jambos*) Banano (*Musa paradisiaca*) Naranja (*Citrus × sinensis*)) es de 95,00 ton/ha.

## IMAGEN 1

Resultados obtenidos en la Biomasa arriba del suelo



Nota: Se presentan los resultados obteniendo que el T2 tiene mayor predominancia

Elaborado por: Los autores.

## Imagen 2

Análisis de varianza de la biomasa de arriba del suelo

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Biomasa de arriba	3	1,00	sd	0,00

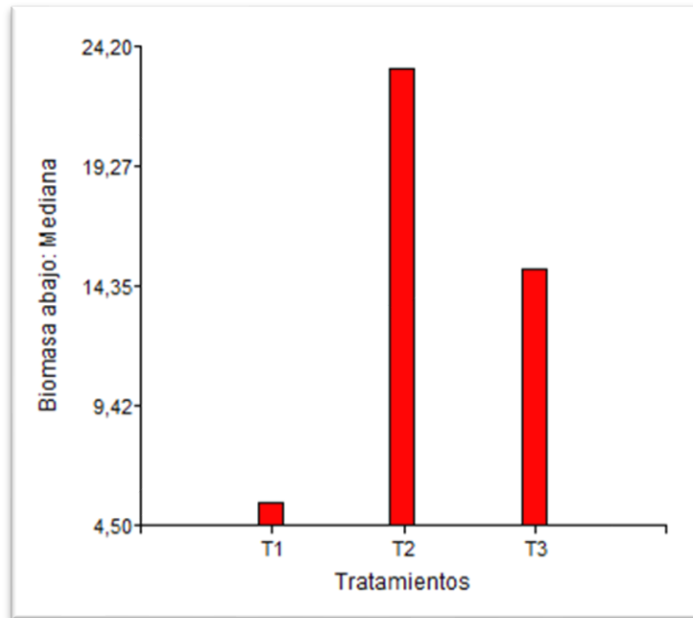
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5443,91	2	2721,95	sd	sd
Tratamientos	5443,91	2	2721,95	sd	sd
Error	0,00	0	0,00		
Total	5443,91	2			

Análisis de varianza que muestra los tres tratamientos como diferentes.

Elaborado por: Los autores

### Imagen 3

Resultados obtenidos en la biomasa abajo del suelo



Nota: Se presentan los resultados obteniendo que el T2 tiene mayor predominancia  
Elaborado por: Los autores

### Imagen 4

Análisis de varianza de la biomasa abajo del suelo

Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	Aj	CV
Biomasa Abajo	3	1,00		sd	0,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

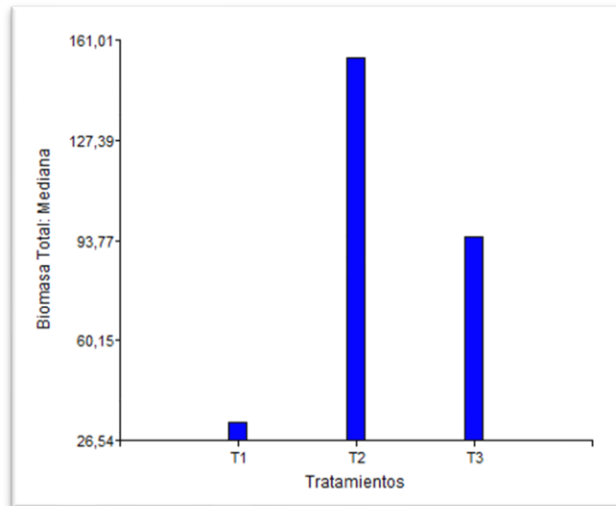
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	160,60	2	80,30	sd	sd
Tratamientos	160,60	2	80,30	sd	sd
Error	0,00	0	0,00		
Total	160,60	2			

Análisis de varianza que muestra los tres tratamientos como diferentes

. Elaborado por: Los autores.

## Imagen 5

Resultados obtenidos de la cantidad de biomasa total



Nota: Se presentan los resultados obteniendo que el T2 tiene mayor predominancia

Elaborado por: Los autores

## Imagen 6

Análisis de varianza de la biomasa total

```
Análisis de la varianza
```

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Biomasa Total	3	1,00	sd	0,00

```
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)
```

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7473,26	2	3736,63	sd	sd
Tratamientos	7473,26	2	3736,63	sd	sd
Error	0,00	0	0,00		
Total	7473,26	2			

Análisis de varianza que muestra los tres tratamientos como diferentes

Elaborado por: Los autores.

#### 4.4. Tasa de fijación de carbono en los tratamientos

Dentro de la tasa de fijación de carbono en cada uno de los 3 tratamientos se determinó que el Tratamiento 2 (T2) cultivo de cacao (*Theobroma Cacao*) asociado con árboles maderables (*Gmelina arborea Roxb*) es el que presenta mayor fijación de Carbono con un valor de 63,16 ton CO<sub>2</sub>eq/ha/año, mientras que el tratamiento tres (T3) de cacao asociado con árboles frutales Pomarrosa (*Syzygium jambos*) Banano (*Musa paradisiaca*) Naranja (*Citrus × sinensis*) tiene un valor de fijación de 38,74 tonCO<sub>2</sub>eq/ha/año. Finalmente, el tratamiento uno (T1) monocultivo de cacao (*Theobroma Cacao*) ocupa el último lugar entre los tres tratamientos con un valor de fijación de 13,31 tonCO<sub>2</sub>eq/ha/año.

Según (H. J. Andrade et al., 2014) los árboles maderables tienen mayor potencial de fijación asociados al cacao para mitigar los gases de efecto invernadero; como se logra constatar en la presente investigación, teniendo como resultados la asociación de maderables con cacao con la mayor absorción de carbono en el tratamiento dos (T2), a diferencia de los demás tratamientos realizados.

**Tabla 4.**

*Emisiones del transporte*

Transporte Materia Prima			
# Viajes: 2	Recorrido (km)	Valor Unitario (kg CO <sub>2</sub> /km)	Total HC (kg CO <sub>2</sub> eq)
Finca Sta. Cruz- Quito	340	0,163	55,42
Finca Sta. Cruz- Tulcán	386	0,163	62,918
Finca Sta. Cruz- Guayaquil	734	0,163	119,642
<b>Total Transporte</b>			237,98

*Nota: total de la huella de carbono en el transporte es de 237,98 kg CO<sub>2</sub> eq.*

## **4.5. Emisión de gases de efecto invernadero en el cultivo y producción del cacao**

### **4.5.1. Emisiones de GEI por combustibles fósiles**

Los valores recabados por combustibles fósiles, son netamente los que se usan para el transporte de cacao a las diferentes ciudades, ya que por el momento la Finca que se encuentra comenzando sus procesos y cuenta con mano de obra y materiales para realizar la poda manualmente.

Tomando en cuenta que, que la flota de la industria (furgones) consume 10,4 galones de combustible Diesel en 364 km recorridos, se puede determinar que el valor de emisión total de los viajes realizados es 237,38 kg CO<sub>2</sub>eq, como lo afirma (H. Andrade et al., 2017) los valores de emisiones obtenidos fueron de 718 kg CO<sub>2</sub>eq dentro del sector de transporte de productos agrícolas, siendo un valor alto comparando al trabajo experimental; al tomar en cuenta que el valor obtenido en la Finca Santa Cruz es de un área total de 2 hectáreas.

### **4.5.2. Emisiones de GEI por energía eléctrica**

Dentro del consumo energético en el cultivo y producción de cacao cuenta con el valor de 220,656 kg CO<sub>2</sub> eq, este valor involucra el consumo de luz de las personas que trabajan y habitan en la finca a diario; el valor obtenido denota que las emisiones de GEI por consumo de energía eléctrica esta entre una de las más considerables, como asegura (Guallasamin Constante & Simón-Baile, 2018) quienes dicen que el uso de energía eléctrica es una de las fuentes con mayor contribución a la huella de carbono dentro de la producción agrícola.

Dentro de la Finca Santa Cruz se usa un método natural de secado para los granos de cacao, en planchas distribuidos uniforme y separado por sus características; como lo asegura (Ortiz L et

al., 2004), el secado natural (al sol y temperatura ambiente) es el mejor, por la manera en la que se va secando lentamente, de manera que la humedad del grano se extrae pausadamente, el grano no se triza, ni se deteriora, para obtener una mayor eficiencia y rentabilidad.

En el secado artificial es donde más emisiones se generen de GEI, por lo que utiliza fuentes de energía como: energía eléctrica, combustibles fósiles, leña, etc. para lograr una temperatura adecuada, donde se pueda extraer la humedad paulatinamente sin dañar el grano.(Valdivia R, n.d.). Dentro de la Finca Santa Cruz la toma de conciencia es prioridad, por lo eso tienen establecido el método de secado natural.

#### **4.5.3. Emisiones de GEI por residuos**

Dentro de la finca Santa Cruz, los residuos son tratados correctamente, en importancia que los orgánicos son utilizados para realizar el abono a la plantación de cacao, en el caso de la finca Santa Cruz los residuos inorgánicos son depositados en los contenedores para la recolección del camión, para la obtención de las emisiones se aplicó la siguiente ecuación.

*valor total HC por kg de CO2 = cantidad de materia prima \* Valor unitario*

**Donde:**

**Cantidad de materia prima:** residuos generados

**Valor unitario:** 1,4525 kg CO2/kg RS

El valor que se obtuvo es de 1,6311 kg CO2, el valor esta generado por 1,1230 kg de residuos que a diario son generados dentro de la finca Santa Cruz,

La finca, ha optado en la reducción de su huella de carbono, de tal manera que los residuos orgánicos sean utilizados dentro de la misma, siendo de gran beneficio, así como asegura (López

P, 2013), que mejora las características de sabor y aroma del cacao, gracias a su relación C/N de 27,8 reduciendo los fertilizantes químicos.

La Finca Santa Cruz presenta un bajo nivel de residuos debido al aprovechamiento de las cascaras y hojas, esta opción es factible en la agroindustria por ser una excelente manera de aprovechar y transformar este residuo en biomaterial alternativo.(Marroquín J & García A, 2022)

En la agricultura los niveles de emisión de gases de efecto invernadero son bajos, tomando en cuenta la energía que esta utiliza y afectaciones al suelo que producen; las emisiones se encuentran en un rango de 30% a 35% del total.

#### **4.5.4. Emisiones de GEI por el consumo de agua**

En la Finca Santa Cruz el consumo de agua es limitado únicamente al uso diario de los trabajadores, por consiguiente, los resultados obtenidos son de 25,0728 kg CO<sub>2</sub>eq, este consumo de agua es mínimo por estar ubicada en un área donde las lluvias priman gran parte del año como lo es Puerto Quito.

Por otra parte (Sela, n.d.), nos afirma que “el riego no es necesario para el cultivo de cacao en zonas con altas tasas de precipitación durante todo el año y cuando la cantidad promedio de lluvia es superior a 1000 mm.”

#### **4.5.5. Emisiones de GEI por el uso de fertilizantes**

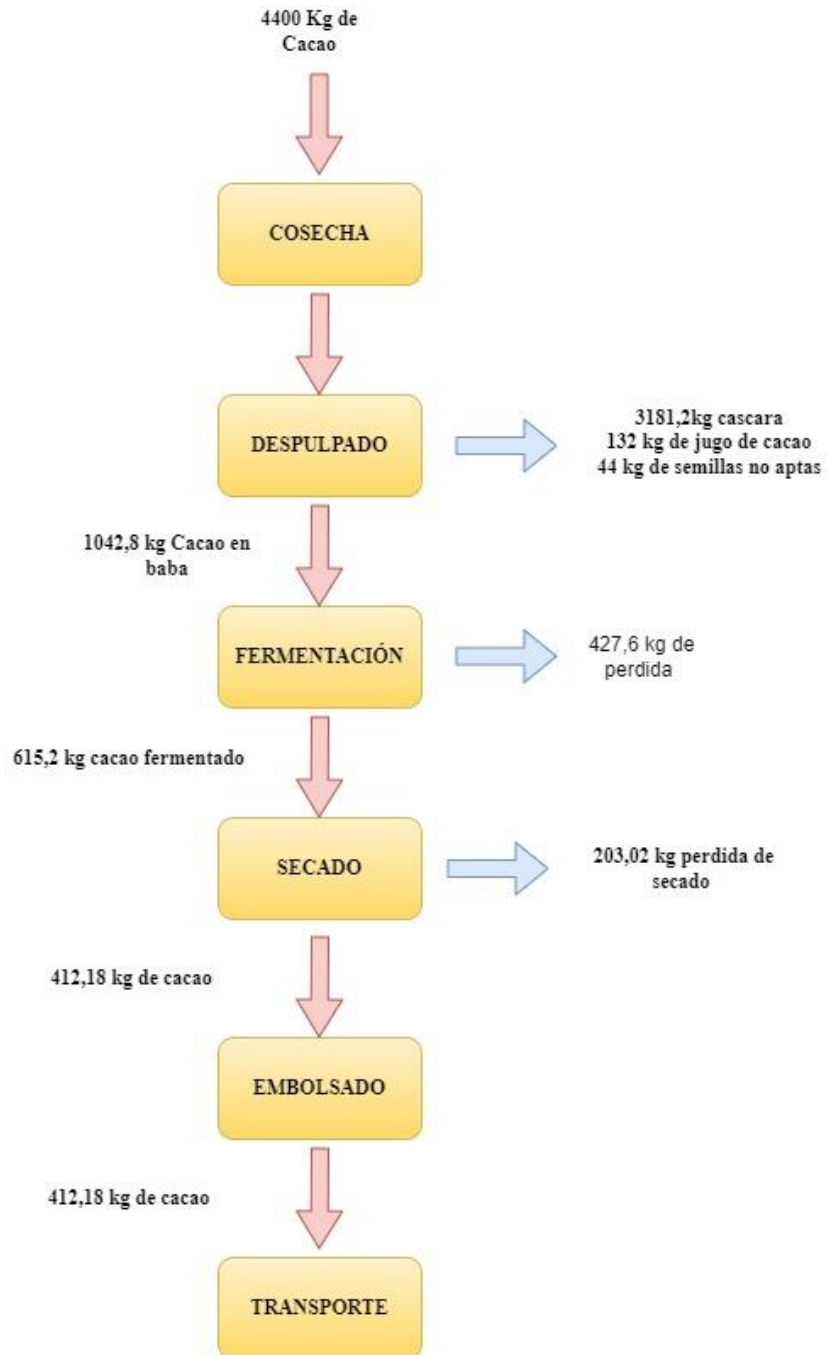
La finca Santa Cruz solo utiliza fertilizantes orgánicos por ende tienen emisiones cero de ese tipo hasta el momento ya que realizan compost con restos de la cosecha del cacao, hojarascas, residuos vegetales y gallinaza que además de evitar generar GEI contribuyen para reducir la evaporación del suelo y así de esta manera conservar su humedad para promover la actividad microbiana beneficiosa



Implementar estas técnicas agrícolas son la mejor opción ya que como menciona(Torres Moreno, 2017) “Los abonos orgánicos son indispensables para la conservación de los suelos e inherentes al cuidado del medio ambiente, aunque más lento, permiten un desarrollo satisfactorio y ecológico de los cultivos.”

## Imagen 7

Diagrama de balance de masa en el proceso de producción del cacao especificada entradas y salidas.



#### 4.5.6. Huella de carbono ocasionada por el cultivo y producción de cacao en la Finca Santa Cruz.

**TABLA 5**

*Huella de carbono generado por el cultivo*

<b>Tratamientos</b>	<b>Tasa de fijación de carbono (ton CO<sub>2</sub>eq)</b>	<b>Huella de carbono ( ton CO<sub>2</sub>eq)</b>
<b>T1</b>	13,31	12,23092
<b>T2</b>	63,16	62,08092
<b>T3</b>	38,74	37,66092
<b>Promedio</b>		37,32425333

*Nota: la huella de carbono es de 37,32 siendo la mayor el T2.*

El tratamiento dos donde se evidencia el cultivo de cacao asociado arboles maderables es el tratamiento con mayor sostenibilidad con el medio ambiente, debido a la presencia de valores positive dentro del balance de carbono, la fijación de carbono encontrado en este tratamiento es mayor a la emisión de gases de efecto invernadero, obteniendo 62,08 tonCO<sub>2</sub>eq comparable al tratamiento asociado con árboles frutales con cacao con un valor de 37,66 tonCO<sub>2</sub>eq y el monocultivo con 12,23 tonCO<sub>2</sub>eq.

Los tratamientos con los componentes arbóreos han demostrado ser fijadores positivos de carbono, contribuyendo para mitigar el cambio climático, pero la mayor eficiencia de carbono es la de los SAF como lo establece (Poveda et al., 2013) la fijación a comparación de otros sistemas de producción agrícola según el estudio en Nicaragua que encontró 1,93 ton Co<sub>2</sub> en sistemas agroforestales de cacao.

En la producción del cacao en la Finca Santa Cruz es considerada buena con el medio ambiente, tomando en consideración los métodos que utilizan para mitigar el cambio climático, en los tratamientos del estudio contienen huella de carbono positivo, por el momento ya que su

principal dedicación es el cultivo, secado y transporte de cacao, pero asumen su relación con el medio ambiente.

El tratamiento tres (T3) el cual combina el cultivo de cacao y componentes maderables es sostenible para el medio ambiente, presentando valores positivos dentro del balance de carbono (mayor fijación) presentando valores de 62,08 tonCO<sub>2</sub>eq, comparado al tratamiento asociado con árboles frutales con cacao con un valor de 37,66 tonCO<sub>2</sub>eq y el monocultivo con 12,23 tonCO<sub>2</sub>eq.

#### **4.6.Estrategias para reducir la huella de carbono del cultivo y la producción cacao**

##### **4.6.1. Implementación de sistemas agroforestales (SAF)**

Los SAF son una de las mejores estrategias para contribuir a la reducción de GEI esto debido a que ayudan a estabilizarlas ya que como explica (Corpoica, 2003), indica que **“los Sistemas Agroforestales, muestran una importante sinergia entre la adaptación y mitigación, ya que sirven como secuestro de carbono e ingresos rurales, así como también una respuesta al estrés hídrico y térmico y a la reducción de nutrientes.”**

En la finca Santa Cruz existe variedad de cultivos de cacao asociadas con especies frutales y maderables lo que ayuda a tener una mayor absorción de carbono y un mejoramiento del suelo con el aporte de que el suelo sea más fértil y con menos ataques de plagas y con esto contribuye a incrementar sosteniblemente su productividad ya que como menciona (Achouri et al., 2010) los SAF considerados sistemas claves en la tendencia actual de promoción de la transformación de la agricultura convencional en “agricultura climáticamente inteligente”.

#### **4.6.2. Implementación de Análisis del Ciclo de vida**

“El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta que puede ser utilizada para evaluar la carga ambiental de un producto, proceso o actividad a lo largo de su movimiento, transformación o vida” (Valencia-Botero& Cardona-Alzate, 2013)

De manera general un análisis de Ciclo de Vida (ACV) para un producto o proceso es una de las estrategias efectivas que contribuyen a la reducción de huella de carbono ya que estas evalúan el impacto ambiental e identifican las etapas con mayores emisiones de gases de efecto invernadero a partir de la extracción de la materia prima hasta su disposición final. Es por ello que en la Finca Santa Cruz sería un impacto positivo implementar este ciclo de vida a través de una adecuada planificación y diseño del proceso conjuntamente con la capacitación y educación de todo el personal de la finca ya que es una finca en proceso de expansión y crecimiento y que mejor que hacerlo de manera sostenible.

#### **4.6.3. Estrategias de reducción de las emisiones de generación eléctrica**

Debido a que en la finca Santa Cruz las emisiones de energía eléctrica son mínimas únicamente de actividades básicas entre las estrategias recomendables es cambiar bombillas halogenadas por LED o en lo posible utilizar la luz natural, uso de aparatos electrónicos eficientes en términos energéticos y la desconexión de los mismo cuando no se estén utilizando.

Sin embargo, como se menciona la finca desea expandir su sistema de producción para lo cual se deberían implementar estrategias más limpias como paneles solares para evitar la dependencia de la red eléctrica convencional, en el caso de la adquisición de maquinarias en lo posible que tengan certificaciones de eficiencia energética, optimizar tiempos de funcionamiento de las misma y revisión periódica del correcto funcionamiento para tener un mejor rendimiento.

#### **4.6.4. Estrategias de reducción de las emisiones por consumo de agua**

Al igual que en el caso de la energía eléctrica las emisiones por consumo de agua son mínimas y de manera general las estrategias más recomendables actualmente y en el caso de expansión de la finca son la instalación de recolección de agua lluvia para el uso de actividades agrícolas para evitar dependencia de los riegos convencionales, implementar sistemas de recirculación de agua en procesos de producción que requieran gran cantidad de agua, monitoreo periódico de tuberías, medidores, cañerías, etc. para prevenir desperdicios.

#### **4.6.5. Estrategias de reducción de las emisiones por transporte de mercancía**

Entre las estrategias más recomendables están la optimización de la logística y planeación de ruta de la distribución del producto para reducir distancias y minimizar viajes en vacío, mantenimiento periódico de los vehículos para un óptimo rendimiento en cada viaje, consolidación de cargas para maximizar la capacidad de carga y de los vehículos para evitar la duplicación de viajes y consumo adicional de combustible.

#### **4.6.6. Estrategias de reducción de las emisiones por residuos sólidos**

En la finca Santa Cruz los residuos orgánicos son netamente utilizados para uso de fertilización sin embargo como se encuentran en planes de expansión su sistema de producción, sería recomendable adoptar prácticas de producción sustentable como la valorización de los residuos para evitar desperdicio de materias primas a través de la recuperación y uso eficiente a lo largo del proceso de producción para la implementación de nuevos productos, instaurar programas de reciclaje a los trabajadores con el fin de buscar oportunidades de reutilizar materiales conjuntamente con una implementación de tachos de separación diferenciada de residuos inorgánicos.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

En resumen, los tres tipos de tratamientos que fueron objeto de investigación almacenaron carbono en la biomasa arriba y abajo del suelo en un rango de 27,25 ton/ha a 131,59 t/ha, obteniendo como mejor almacenador de carbono arriba y abajo del suelo, el tratamiento de cacao (*Theobroma Cacao*) asociado con árboles maderables 131,59 t/ha, si lo comparamos con los dos tratamientos faltantes los cuales tuvieron menores de 27,25 t/ha para monocultivo de cacao y 79,97 ton/ha en el cacao asociado con árboles frutales.

La Finca Santa Cruz es una productora que mantiene el respeto por el medio ambiente ya que como se observó fija en promedio 37,32 tonCO<sub>2</sub>eq/ha/año mitigando el cambio climático, pero el monocultivo de cacao es el menor fijador de carbono, esto se debe a la densidad de la siembra. Los tratamientos asociados con maderables con cacao y frutales con cacao tienen una capacidad para el almacenar carbono en un rango de 37,66 tonCO<sub>2</sub>eq/ha/año a 62,08 tonCO<sub>2</sub> eq/ha/año, obteniendo que el Tratamiento uno (T1) monocultivo de cacao el de menor fijación y el tratamiento dos (T2) asociado con maderables el de mayor fijación de carbono.

Las actividades realizadas en la Finca Santa Cruz desde el cultivo de cacao emitieron CO<sub>2</sub> dentro de un rango de 1,63 kg CO<sub>2</sub> a 220 kg CO<sub>2</sub> siendo el mayor emisor la energía eléctrica procedente del uso de casetas de los trabajadores y vivienda del cuidador de la Finca, seguido del consumo de agua con un valor de 25,07 kg CO<sub>2</sub> debido a que no cuentan con sistemas de riego por la ubicación de la finca y por el momento la producción se basa en el secado, almacenamiento y transporte.

### 5.2. Recomendaciones

- Es recomendable generar mayor difusión sobre la ejecución de análisis de huella de carbono para estimar fuentes de gases de efecto invernadero tanto a nivel individual como empresarial ya que de esta manera podemos implementar estrategias sostenibles que contribuyen a la reducción de las emisiones y de su impacto climático además de mejorar la productividad y rentabilidad de las empresas dando así de esta manera un mejor posicionamiento comercial
- Es necesario que existan cambios en los sistemas agrícolas ya que incorporar sistemas más diversificados de cultivos contribuyen a mitigar del cambio climático debido a que potencian mayor eficiencia de la captura de carbono como en este caso se evidencia que lo hacen los sistemas agroforestales además de brindar otras ventajas como mejorar la fertilidad del suelo y evitar pérdida de biodiversidad como lo hacen los monocultivos.
- Es importante continuar con trabajos investigativos sobre la fijación de carbono ya que ayudan a promover y respaldar el desarrollo de sistemas agrícolas más sostenibles proporcionando una visión integral de los impactos positivos que genera adoptar estas prácticas.



## 6. ANEXOS

### *Anexo 1 Reconocimiento del área de estudio*



### *Anexo 2 Delimitación del área de estudio*



### *Anexo 3 Medición de la altura de los arboles*



## 7. BIBLIOGRAFIA

- Achouri, M., Baker, D., Batello, C., Bessy, C., Braatz, S., Capaldo, J., Chopin, F., Collette, L., Custot, J., Dubois, O., De Young, C., Friedrich, T., Gauthier, M., Gerber, P., Gitz, V., Ghosh, K., Guei, R. G., Henderson, B., Hoffmann, I., ... Runsten, L. (2010). *"Climate-Smart" Agriculture Policies, Practices and Financing for Food Security, Adaptation and Mitigation Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) 2010.*
- Andrade, H., Arteaga, C., & Segura, M. (2017). Emisión de gases de efecto invernadero por uso de combustibles fósiles en Ibagué, Tolima (Colombia). *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(1), 103–112.  
[https://doi.org/10.21930/rcta.vol18\\_num1\\_art:561](https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num1_art:561)
- Andrade, H. J., Marín, L. M., & Pachón, D. P. (2014). FIJACIÓN DE CARBONO Y PORCENTAJE DE SOMBRA EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) EN EL LÍBANO, TOLIMA, COLOMBIA. In *Bioagro* (Vol. 26, Issue 2).
- Andrade Hernán, Segura Milena, & Varona Juan Pablo. (2015). Estimación de huella de carbono del sistema de producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en Palmira, Valle del Cauca, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 1(2145–6097), 20–23.
- ANECACAO. (2019). BOLETIN MENSUAL DE ANECACAO. In *Sector exportador de cacao*.
- Corpoica. (2003). Impactos del cambio climático y los sistemas de producción agroforestales.  
<Http://Repositorio.lica.Int/Bitstream/Handle/11324/8921/BVE20037934e.Pdf?Sequence=1&isAllowed=y>,  
Bogotá, 36.
- Delgado, N. (2018). *Plan de manejo integral de residuos derivados de la extracción de lapulpa de cacao en la hacienda Bellavista, Luz de América, provincia de Azuay-Ecuador.*
- Díaz Cordero, G. (2012). EL CAMBIO CLIMÁTICO. *Ciencia y Sociedad*, XXXVII(2), 228–229.
- Federación de Enseñanza de CC.OO. de Andalucía. (2010). *EL EFECTO INVERNADERO*. 7(1989–4023).
- Frohmann, A., & Olmos, X. (2013). *HUELLA DE CARBONO, EXPORTACIONES Y ESTRATEGIAS EMPRESARIALES FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO.*

- GAD de Flavio Alfaro. (2014). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN FLAVIO ALFARO*.
- García Fernández, C. (2011). El cambio climático: Los aspectos científicos y económicos mas relevantes. *Nómadas Revista Crítica de Ciencias Sociales y Jurídicas*, 32(4). [https://doi.org/10.5209/rev\\_noma.2011.v32.n4.38052](https://doi.org/10.5209/rev_noma.2011.v32.n4.38052)
- Guallasamin Constante, K., & Simón-Baile, D. (2018). Huella de carbono del cultivo de rosas en Ecuador comparando dos metodologías: GHG Protocol vs. PAS 2050/ Carbon footprint of the cultivation of roses in Ecuador comparing two methodologies: GHG Protocol vs. PAS 2050. *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, 24, 27–56. <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.24.2018.3091>
- Hernández, G., Laines, J., Ávila, I., Solís, R., & Sosa, J. (2022). CÁLCULOS ESTEQUIOMÉTRICOS DE FACTORES DE EMISIÓN PARA ESTIMAR EMISIONES FUGITIVAS DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN UN CENTRO DE ACOPIO DE RESIDUOS SÓLIDOS. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 38, 165–179. <https://doi.org/10.20937/RICA.54024>
- Ihope S.A. (2013). 7 METODOLOGÍAS PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO. *Sociedad Pública de Gestión Ambiental Departamento de Medio Ambiente y Política Territorial Gobierno Vasco*, 3–8.
- IPCC. (2015). *Fundamentos metodológicos del IPCC*.
- López P. (2013). *ELABORACIÓN DE COMPOST A PARTIR DE CASCARILLA DE CACAO*.
- Manzo, B. (2018). Huella ecológica como indicador de sostenibilidad en el cultivo de cacao. *Universidad Técnica Estatal de Quevedo*.
- María Q, Andrade, Hernán J, & Sandoval Angélica P. (2016). *COLOMBIA ATMOSPHERIC CARBON FIXATION IN THE TOTAL BIOMASS WITHIN COCOA PRODUCTION SYSTEMS IN THE DEPARTMENT OF TOLIMA, COLOMBIA*.
- Marroquín J, & García A. (2022). *OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE UN SUSTRATO NUTRITIVO HECHO A PARTIR DE CÁSCARAS DE CACAO PARA LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE HORTALIZAS*.
- Ministerio para la Transición Ecológica. (2017). *Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización*. <http://publicacionesoficiales.boe.es/>

- Ortiz L, Camacho G, & Graziani L. (2004). EFECTO DEL SECADO AL SOL SOBRE LA CALIDAD DEL GRANO FERMENTADO DE CACAO. *Agronomia Trop*, 24.
- Poveda, V., Orozco, L., Medina, C., Cerda, R., & López, A. (2013). Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de cacao en Waslala, Nicaragua. *Desarrollo Rural En Las Américas*, 49.  
[https://www.researchgate.net/publication/280055443\\_Almacenamiento\\_de\\_carbono\\_en\\_sistemas\\_agroforestales\\_de\\_cacao\\_en\\_Waslala\\_nicaragua](https://www.researchgate.net/publication/280055443_Almacenamiento_de_carbono_en_sistemas_agroforestales_de_cacao_en_Waslala_nicaragua)
- Power Porto George. (2009). El calentamiento global y las emisiones de carbono. *Calidad y Medio Ambiente* , 27, 101–122.
- Quintero, M. del P. (2016). ESTRATEGIAS DE REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN EL CICLO DE VIDA DE LA PRODUCCION DE CACAO (Theobroma cacao) Y PROCESAMIENTO INDUSTRIAL DE CHOCOLATE EN COLOMBIA. *Universidad de Tolima* .
- Rojas, Y., & Bahamondez, C. (2021). Protocolo stock de carbono de los ecosistemas forestales nativos. In *Protocolo stock de carbono de los ecosistemas forestales nativos*. FAO y MINAGRI. <https://doi.org/10.4060/cb0869es>
- Saket, M., Altrell, D., & Branthomme, A. (2004). Inventario forestal nacional manual de campo . *Programa de Evaluacion de Los Recursos Forestales*. <https://www.fao.org/3/ae578s/AE578S00.htm#TopOfPage>
- Schneider, H. (2010). La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios. *CEPAL*.
- Schneider, H., & Samaniego, J. (n.d.). *La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios*.
- Segura, M., & Andrade, H. J. (2008). *¿Cómo estimar rápidamente el carbono almacenado en la biomasa aérea de los sistemas agroforestales indígenas de Talamanca, Costa Rica?*
- Sela, G. (n.d.). *LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE CACAO*. Retrieved July 5, 2023, from <https://croipaia.com/es/blog/el-cultivo-de-cacao/>
- Sosa, B. A., & García, Y. S. (2019). Emission of greenhouse gases in the soil under the green manure effect. *Agronomia Mesoamericana*, 30(3), 767–782. <https://doi.org/10.15517/am.v30i3.36103>

- Torres Moreno, Á. A. (2017). Uso de Abonos Orgánicos para el Desarrollo Sustentable de la Escuela Técnica Agronómica Salesiana. *Revista Científica*, 2(3), 99–117. <https://doi.org/10.29394/scientific.issn.2542-2987.2017.2.3.5.99-117>
- Valdivia R. (n.d.). *FUNDAMENTOS DEL SECADO DEL CACAO*.
- Valencia-Botero, M. J., & Cardona-Alzate, C. A. (2013). *Análisis del ciclo de vida para la producción de hidrógeno como combustible del futuro Life Cycle Analysis of the Hydrogen Production as the Future Fuel: Vol. XXV*. mayo-agosto.
- Villamar, L., Calderon, J., & Mayorga, E. (2016). Estrategias para el cultivo, comercialización y exportación del cacao fino de aroma en Ecuador. *Revista Científica UNEMI*, 9.
- Yandún, N. (2018). *ESTIMACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES BASADO EN EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LA FASE AGRÍCOLA DE LA CADENA AGROALIMENTARIA CONVENCIONAL Y AGROECOLÓGICA DE LA PAPA (SOLANUM TUBEROSUM) EN LAS JUNTAS PARROQUIALES “LA ESPERANZA”, Y “TABACUNDO”, CANTÓN PEDRO MONCAYO*.
- Zavala Solórzano, J. W., Mansilla Minaya, L., Zavala Guerrero, S. L., & Merino Maguiña, É. G. (2019). Mitigación del cambio climático a través del secuestro y almacenamiento del carbono y evaluación de los servicios ambientales del SAF caucho o jebe (*Hevea brasiliensis*) y cacao (*Theobroma cacao* L.) en Tingo María. *Anales Científicos*, 80(2), 462. <https://doi.org/10.21704/ac.v80i2.1478>