

Cuantificación del almacenamiento de carbono en un sistema agroforestal con la especie cacao (*Theobroma cacao* L) en la finca campo alegre de la vereda rumiyaco del municipio de Mocoa – Putumayo.

Karen Patricia Ariza Burbano

Nohora Mayerly Palma Herrera

Instituto Tecnológico del Putumayo

Tecnología en saneamiento ambiental

Mocoa - Putumayo

2018

**Cuantificación del almacenamiento de carbono en un sistema agroforestal con la especie cacao (theobroma cacao L) en la finca campo alegre de la vereda rumiyaco del municipio de mocoa – putumayo.**

**Karen patricia ariza burbano**

**Nohora mayerly palma herrera**

**Trabajo de grado modalidad tesis**

**Asesor:**

**Amilcar muñoz**

**Ing. Ambiental**

**Instituto tecnologico del putumayo**

**Tecnologia en saneamiento ambiental**

**Mocoa - putumayo**

**2018**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Febreo de 2018

## Dedicatoria

Dedicado a Dios y a mi familia.

Por ser los pilares de mi vida, por inculcarme valores y estar siempre en los buenos y malos momentos siendo mi fuente de apoyo incondicional, por brindarme una familia unida, sencilla y llena de amor.

Karen ariza

A Dios por mi vida, por la sabiduría y las bendiciones que me dio para lograr este triunfo.

A mis padres por el amor, por inculcarme valores y principios, deseos de superación, y por su apoyo incondicional.

A mis hermanos por su comprensión y absoluta compañía en cada una de las etapas de mi vida.

Mayerly palma

## Agradecimientos

A Dios por dame fortaleza, fe y esperanza en todo momento. A mi familia por ser quienes me acompañan siempre y llenan mis días de felicidad, por apoyarme en todas mis decisiones y hacer posible que realice mi trabajo de grado. Al Instituto Tecnológico del Putumayo (ITP) por brindarme una comunidad de administrativos, docentes y estudiantes que aportaron a mí desarrollo académico. A Amilcar Muñoz por ser tutor de tesis y brindarme todo su conocimiento, para la realización de mi proyecto de grado.

Karen ariza

Agradezco a dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de la carrera y por brindarme una vida llena de aprendizajes. A mi familia por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad, por la compañía en cada una de mis experiencias y sobre todo por luchar conmigo por mí felicidad y cumplir paso a paso mis propósitos. A mis profesores por la confianza, exigencias, por el apoyo brindado durante mi formación profesional , por los conocimientos trasmitidos y dedicación de tiempo; pero, en especial a mi tutor de tesis amilcar muñoz.

Mayerly palma

## Resumen

El propósito del presente trabajo fue estimar el carbono almacenado en un sistema agroforestal (SAF) con cacao (*theobroma cacao* L) de tres (3) hectáreas con 800 árboles cada una en la finca campo alegre de la vereda Rumiyo Mocoa Putumayo. La metodología desarrollada fue un inventario de los CD y la altura de 148 árboles por ha de manera aleatoria, establecimiento de parcelas de 0.25 metros cuadrados, para la toma de muestra de suelo, hojarasca y detritos, de los análisis obtenidos, los tres componentes tuvieron una tasa de fijación de carbono total de 93,93 ton C/ha almacenado. Los compartimientos del SAF que más carbono almacenaron en orden descendente fueron: suelo 70,73 ton C/ha, biomasa arbórea 12,27 ton C/ha, biomasa radicular 6,21 ton C/ha, hojarasca y detritos 5,22 ton C/ha, para obtener dichos valores se utilizaron ecuaciones alométricas, tomando en cuenta la densidad aparente, el %C y la profundidad del muestreo, los análisis estadísticos realizados con los datos obtenidos del SAF de cacao (*Teobroma cacao*) se determinó una variación entre los componentes  $\Delta$ CBA,  $\Delta$ CBHyD y  $\Delta$ CS, correspondiente al carbono almacenado en el suelo, mientras que para los componentes  $\Delta$ CBR,  $\Delta$ CBA y  $\Delta$ CBHyD no hubo una diferencia significativa en cuanto al almacenamiento de carbono.

**Palabras claves:** agroecosistemas, cacao, almacenamiento de carbono, SAF, detritos.

### Abstract

The purpose of the present work was to estimate the carbon stored in an agroforestry system (SAF) with cacao (*Theobroma cacao* L.) of three (3) hectares with 800 trees each in the cheerful field farm of the path Rumiayaco Mocoa Putumayo. The methodology developed was an inventory of the CD and the height of 148 trees per hectare randomly, establishment of plots of 0.25 square meter for the sampling of soil, litter and debris, of the analyzes obtained, the three components had a Total carbon fixation rate of 93.93 ton C / ha stored. The compartments of the SAF that stored the most carbon in descending order were: soil 70.73 ton C / ha, tree biomass 12.27 ton C / ha, root biomass 6.21 ton C / ha, litter and debris 5.22 ton C / ha, to obtain these vouchers allometric equations were used, taking into account the apparent density, % C and the depth of the sampling, the statistical analyzes carried out with the data obtained from the SAF of cacao (*Theobroma cacao* L.), a variation between the components  $\Delta$ CBA,  $\Delta$ CBHyD and  $\Delta$ CS, corresponding to the carbon stored in the soil, while for the components  $\Delta$ CBR,  $\Delta$ CBA and  $\Delta$ CBHyD there was no significant difference in carbon storage.

**Keywords:** agroecosystems, cocoa, carbon storage, SAF, detritus.

Tabla de contenido.....	8
1. Titulo.....	14
1.1. Identificación del problema.....	14
1.2. Descripción del problema.....	14
1.3 Objetivos.....	17
1.3.1. General .....	17
1.3.2. Especificos .....	17
1.4. Justificación .....	18
1.5. Marco referencial .....	20
1.5.1. Marco contextual .....	20
1.5.2. Marco conceptual.....	22
1.5.3. Marco teórico .....	23
1.5.4. Marco legal .....	29
1.6. Estado del arte.....	33
1.7. Metodología .....	35
1.7.1. Tipo de investigación .....	35
1.7.2. Universo.....	35
1.7.3. Diseño metodológico.....	36
2. Resultados y discusión.....	41
3. Conclusiones.....	67
4. Recomendaciones .....	68
Bibliografía.....	69

<b>Lista de cuadros.....</b>	<b>9</b>
Cuadro 1. Estimación de la biomasa arbórea en materia seca (Tn Ms/Ha). .....	36
Cuadro 2. Calculo del stock de carbono en la biomasa arbórea por hectárea.....	37
Cuadro 3. Estimación de biomasa radicular por el método indirecto. Fórmula válida para bosques tropicales. ....	37
Cuadro 4. Estimación de la biomasa subterránea en toneladas de masa seca por hectárea por el método indirecto .....	37
Cuadro 5. Calculo del stock de carbono en la biomasa raíz arbórea por hectárea.....	38
Cuadro 6. Cálculo de materia seca en hojarasca y detritos.....	38
Cuadro 7. Cálculo de la cantidad de carbono en la muestra de hojarasca de cacao. ....	39
Cuadro 8. Cálculo de la cantidad de carbono en la biomasa de hojarasca de cacao por hectárea. ....	39
Cuadro 9. Ecuación de cálculo de carbono.....	41
Cuadro 10. Calculo del stock de carbono en el suelo. ....	41

Lista de tablas.....10

Tabla 1. Descripción del sistema agroforestal. ....21

Tabla 2. Ecuación alométrica para estimar la biomasa sobre del suelo (Kg de materia seca por árbol).....36

Tabla 3. Materiales empleados para la recolección de hojarasca de cacao. ....43

Tabla 4. Herramientas empleadas para la cuantificación de carbono orgánico almacenado en el suelo. ....44

Tabla 5. Biomasa radicular en materia seca para los tres componentes. ....51

Tabla 6. Biomasa arbórea en materia seca para los tres componentes. ....53

Tabla 7. Biomasa fresca seca y stock de C para los tres componentes.....56

Tabla 8. Estimación de C en el suelo para los tres componentes. ....60

Lista de figuras.....	11
Figura 1. El efecto invernadero. ....	26
Figura 2. la fotosíntesis .....	27
Figura 3. Tipos de barreno para muestreo de suelo. ....	40
figura 4. Registro toma de datos altura y CD.....	42
Figura 5. Registro trabajo en hojarasca de cacao. ....	42
Figura 6. Registro toma muestra de suelo compuesta. ....	45
Figura 7. Toma datos de altura. ....	55
Figura 8. Toma datos CD .....	55
Figura 9. Registro toma de C fijado en hojarasca de cacao. ....	59
Figura 10. Muestreo de suelo. ....	61
Figura 11. Muestreo de suelo compuesto.....	62
Figura 12. Toma de muestra de suelo.....	64

<b>Lista de graficas.....</b>	<b>12</b>
Grafica 1. Relación de (H) y (CD) en la plantación de 1 ½ años. ....	46
Grafica 2. Relación de (H) y (CD) en la plantación de 3 años. ....	47
Grafica 3. Relación de (H) y (CD) en la plantación de 6 años. ....	48
Grafica 4. Relación de BAMS y CD para la plantación de 1 ½ años. ....	49
Grafica 5. Relación de BAMS y CD para la plantación de 3 años. ....	50
Grafica 6. Relación de BAMS y CD para la plantación de 6 años. ....	51
Grafica 7. Cuantificación del C para la biomasa radicular. ....	52
Grafica 8. Cuantificación del C para la biomasa arbórea. ....	54
Grafica 9. Estimación de C en hojarasca de cacao en los tres componentes. ....	58
Grafica 10. Determinación de C en el suelo para los tres componentes. ....	62
Grafica 11. Estimación del Carbono en cada uno de los componentes ( $\Delta CBR, \Delta CBA, \Delta CBHyD, \Delta CS$ ) del sistema. ....	66
Grafica 11. Estimación del Carbono en cada uno de los componentes ( $\Delta CBR, \Delta CBA, \Delta CBHyD, \Delta CS$ ) del sistema. ....	66

## Capítulo I Introducción e información general

### Introducción

Una de las funciones más importantes del ecosistema, relacionada con el ciclo del carbono, es la captura del CO<sub>2</sub> por diferentes elementos que componen la biosfera, el aumento de las emisiones antropogénicas de CO<sub>2</sub> está empezando a ser absorbido por la atmósfera, por los océanos y por los bosques y otras especies vegetales. El aumento del dióxido de carbono en la atmósfera provoca un aumento del efecto invernadero, originando alteraciones climáticas. La principal fuente de captación de carbono son las especies forestales, las cuales absorben CO<sub>2</sub> por medio de la fotosíntesis, por lo cual se decidió evaluar la captación en una plantación, el método de medición utilizado en este caso es el indirecto, mediante el cual se emplean una serie de fórmulas para conocer cuánto CO<sub>2</sub> es capturado por un sistema agroforestal de Cacao (*Theobroma cacao* L) en Mocoa-Putumayo, con el fin de comparar los resultados obtenidos con los de otras especies y así saber cuál es su grado de captación de CO<sub>2</sub> en cuanto a lo capturado por otros sistemas, y cuál es su contribución a la reducción del calentamiento global, Ya que las plantas, a través de la fotosíntesis, extraen el carbono de la atmósfera (en forma de CO<sub>2</sub>) y lo convierten en biomasa. La biomasa al descomponerse se convierte en parte del suelo (en forma de humus) o en CO<sub>2</sub> (a través de la respiración de los microorganismos que procesan la biomasa<sup>1</sup>, para lo cual fue necesario realizar los siguientes tres objetivos, como primero se realizó la estimación del carbono fijado en la biomasa aérea y biomasa subterránea del (SAF), por consiguiente se determinó el carbono fijado en la hojarasca y detritos del (SAF) y para finalizar se cuantifico el carbono orgánico almacenado en el suelo del (SAF).

---

<sup>1</sup> Mota, Alcaraz, Iglesias, Martínez y Carvajal (2005). Investigación sobre la absorción de CO<sub>2</sub> por los cultivos más representativos  
Recuperado de: [http://www.lessco2.es/pdfs/noticias/ponencia\\_cisc\\_espanol.pdf](http://www.lessco2.es/pdfs/noticias/ponencia_cisc_espanol.pdf)

## 1. Título

Cuantificación del almacenamiento de carbono en un sistema agroforestal con la especie cacao (*Theobroma cacao* L) en la finca campo alegre de la vereda rumiyaco del municipio de Mocoa – Putumayo.

### 1.1. Identificación del problema

¿Cómo se cuantifica el carbono almacenado por un sistema agroforestal con la especie cacao (*Theobroma cacao* L) en el municipio de Mocoa - Putumayo?

### 1.2. Descripción del problema

En el mundo el cambio climático es uno de los problemas de mayor proporción, uno de ellos es principalmente las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI); el aumento de la concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) atmosférico es una preocupación mundial, y se considera como uno de los seis principales gases de efecto invernadero (GEI) el cual contribuye en mayor proporción al cambio climático (IPCC 2003). Sobre la problemática mencionada Torres y Guevara (2007) afirman que:

Con el paso de los años se han establecido una variedad de estrategias para contrarrestar dicha problemática. El manejo apropiado de la vegetación es un mecanismo para la reducción de concentraciones de CO<sub>2</sub> a nivel global, y por consecuencia la captura de CO<sub>2</sub> a través de la vegetación se transforma en una estrategia potencial. La vegetación almacena y libera carbono como resultado de los procesos fotosintéticos, de crecimiento diamétrico, respiración y de degradación de materia seca, el saldo es una captura neta positiva cuyo monto depende del manejo que se le dé a la cobertura vegetal, así como de la edad, distribución de tamaños, estructura y composición de ésta.

Colombia cuenta con grandes sistemas forestales y agroforestales, los cuales son el principal mecanismo de fijación y almacenamiento de CO<sub>2</sub>, estos sistemas contribuyen al control de las emisiones realizadas por industrias, vehículos entre otros, mejorando así la problemática del cambio climático, Aún más cuando “Colombia forma parte de las listas de territorios con mayor vulnerabilidad ante el cambio climático<sup>2</sup>”; es decir; esto ocurre debido a las características físicas, geográficas, económicas, sociales y de biodiversidad, por tanto, hay que tener en cuenta que nuestro país se encuentra ubicado en el trópico y es muy rico en agua; por ello, los altos niveles de agua en ríos, lagos, y quebradas, posiblemente lleguen a ocasionar desastres a las comunidades más cercanas a ellas.

Según la ONU (2016), “nueve de cada diez fenómenos catastróficos de la naturaleza están relacionados con las anomalías climáticas de los últimos años”. El clima con el pasar del tiempo es más impredecible, con fenómenos tan extremos como inundaciones y sequías, dejando así víctimas fatales y heridas, grandes pérdidas económicas, daños psicológicos en las comunidades y atraso de las mismas.

Los desastres naturales tales como el ocurrido en Mocoa, Putumayo el pasado 1 de abril de 2017 que acabo con la vida de cientos de personas, suceden principalmente por el cambio climático; evidenciando a simple vista la estrecha relación que este tiene con el cambio climático, debido a la cantidad de deforestaciones y contaminación producida por la comunidad se dan grandes variaciones en el clima que dejan consigo tanto pérdidas humanas, como materiales.

Según la Asociación de Productores de Cacao del Piedemonte Amazónico (APROCAPA 2017), Mocoa cuenta con 200 hectáreas de plantaciones de Cacao; ellos distribuidos en 18 veredas, ubicando al resguardo de Yunguillo como el lugar de mayor producción<sup>3</sup>; que, por medio de la fotosíntesis logran almacenar CO<sub>2</sub> de la atmosfera y liberar O<sub>2</sub> al ambiente,

---

<sup>2</sup> El espectador (2017). Los pobres son los más castigados por el cambio climático.

Recuperado de: <http://www.elspectador.com/noticias/medio-ambiente/encienden-la-primera-planta-comercial-que-captura-co2-articulo-696783>

<sup>3</sup> Asociación de Productores de Cacao del Piedemonte Amazónico (APROCAPA, 2017).

las plantaciones tienen gran capacidad de alterar la cantidad de carbono emitido y generar así un balance, lo que influye positivamente en la dinámica del clima.

Por lo anterior, se pretende cuantificar la captura y almacenamiento de carbono en la especie cacao (*Theobroma cacao* L.) que brinde información de la cantidad de carbono almacenado por este sistema y ver su aporte a la reducción de los GEI.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1. General**

Cuantificar el almacenamiento de carbono en un sistema agroforestal (SAF) para una plantación de 3 hectáreas en la finca Campo Alegre de la vereda Rumiayaco con la especie de cacao (*Theobroma cacao* L.) mediante uso de ecuaciones alométricas (método indirecto) en el municipio de Mocoa - Putumayo.

### **1.3.2. Especificos**

- ✓ Estimar el carbono fijado en la biomasa aérea y biomasa subterránea del (SAF) mediante ecuaciones alométricas, (método indirecto).
- ✓ Determinar el carbono fijado en la hojarasca de cacao del (SAF).
- ✓ Cuantificar el carbono orgánico almacenado en el suelo del (SAF).

#### 1.4. Justificación

Los sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao* L.) poseen una gran capacidad de captura y almacenamiento de carbono, por tanto pueden considerarse un mecanismo importante que permite a los pequeños productores de esta zona acceder a un pago por servicios ambientales bajo este tipo de uso del suelo como lo establece el decreto 2811 de 1974 en el artículo 13. Además, el cacao del país es catalogado como cacao fino y de aroma, el cual es la materia prima para la producción de chocolates finos como lo menciona ProColombia (2016)<sup>4</sup>.

Para realizar dicha investigación se empleará el método indirecto el cual consiste en la utilización de factores de esparcimiento de biomasa; tomando como referencia el volumen del componente (altura y CD) y estudiar las plantaciones de cacao en general, Según Silva y Nívar (2010):

Una forma indirecta de estimar  $M$  es a través de ecuaciones y modelos matemáticos calculados por medio de análisis de regresión entre las variables de los árboles y la biomasa. Las ecuaciones alométricas convencionales utilizan generalmente el diámetro normal o basal (Brown, 1997; Nívar et al., 2004a, 2004b), aunque se recomienda considerar la altura (Husch, 2001; Nívar et al., 2004a; 2004b). También se puede estimar mediante el volumen del fuste, a partir de la densidad básica para determinar el peso seco total del árbol o del rodal.<sup>5</sup>

Con lo anterior, se describe parte del trabajo a realizar tanto en campo como análisis y resultados a presentar mediante ecuaciones y modelos matemáticos; cabe resaltar, que se

---

<sup>4</sup> ProColombia (2016). Lo que debe saber para exportar cacao fino de aroma. Noticias ProColombia; (1), Recuperado de: <https://www.google.com.co/url?>

<sup>5</sup> Silva y Nívar (2010). Factores de expansión de biomasa en comunidades forestales templadas del norte de Durango, México. Scielo, (1), Recuperado de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v1n1/v1n1a7.pdf>

opta por esta opción para hacer uso eficiente de los recursos presentes en el lugar de estudio y no alterar el ecosistema.

Mediante esta investigación se aportaran conocimientos bases para la elaboración de estrategias encaminadas a minimizar la problemática ambiental sobre el cambio climático; para el ITP, la presente investigación fortalecerá la información sobre captura de carbono, generando oportunidades para realizar proyectos enfocados en mejorar la calidad ambiental.

## 1.5. Marco referencial

### 1.5.1. Marco contextual

Mocoa, es la capital del departamento de Putumayo, está localizado en el extremo noroccidental del territorio putumayense. El Municipio fue creado mediante Decreto 132 de 13/02/1958 y cuenta con 53 veredas y cinco (5) Inspecciones de Policía, entre ellas, Mocoa, El Pepino, Yunguillo, Condagua y Puerto Limón. La zona urbana está compuesta por 64 barrios legalmente constituidos y más de 15 barrios que no se encuentran legalizados. Sus límites son:

**Sur:** Municipios de Villagarzón y Puerto Caicedo

**Oriente:** Municipio de Puerto Guzmán y el Departamento del Cauca.

**Norte:** Departamento del Cauca.

**Occidente:** Municipio de San Francisco.

La población del Municipio de Mocoa, según la proyección del DANE 2005, es de 39.867 habitantes, con un total de 19.675 hombres representando el 49.4% de la población y 20.192 mujeres que equivalen a un 50.6% de la población. Cabe aclarar que las 23.502 personas víctimas del desplazamiento, reportadas por el Departamento de la Prosperidad Social (DPS) a diciembre de 2011, no se tuvieron en cuenta en las proyecciones del DANE.

La tasa de crecimiento anual de la población del departamento es de 1.0%, la tasa general de fecundidad es de 70.49%, la tasa bruta de natalidad es del 17.50% y la tasa bruta de mortalidad es 3.24% según fuente DANE Conciliación Censal Proyecciones de población 2005-2020.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> CORONADO (8-mayo-2013). Recuperado de: <http://putumayomocoajl.blogspot.com/2013/05/putumayo-mocoa.html>

## Breve historia

Putumayo cuenta con 13 municipios; divididos en tres zonas: alta media y bajo; destacándose en la zona media el municipio de Mocoa; siendo la vereda Rumiyaco una de las tantas veredas que conforma este municipio, esta vereda ubicada en el km 10 vía salida Pasto, la cual cuenta con saneamiento básico, equipamientos colectivos en esta zona y sistema educativo.

Rumiyaco, enumera un total de 52 viviendas, una cifra de 5 familias sin vivienda, actualmente las estadísticas mencionan una prestación del servicio de energía eléctrica, cuentan con polideportivos y canchas de futbol, escuela con un numero de 75 estudiantes y 7 docentes y puesto de salud; hasta la fecha no se establecen servicios de alcantarillado, matadero y recolección de residuos o basuras; por tanto el área de estudio para el desarrollo del presente trabajo será la siguiente:

Tabla 1. Descripción del sistema agroforestal.

<b>PROPIETARIO</b>	<b>SEGUNDO ROMO</b>
Nombre de la finca	Campo Alegre
Área del predio	Tres hectáreas
Sistema	Agroforestal
Especies involucradas	Cacao y plátano
Tiempo de establecido	6, 3 y ½ años
Distancia de siembra del cacao	4 y 3.50m entre plantas y surcos
Densidad del cacao	800 plantas por hectárea

Fuente: presente investigación 2017.

### 1.5.2. Marco conceptual

**Sistema agroforestal:** Son una forma de uso de la tierra en donde plantas leñosas perennes interactúan biológicamente en un área con cultivos y/o animales, el propósito fundamental es diversificar y optimizar la producción respetando el principio de sostenibilidad.

**Biomasa:** La biomasa es aquella materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos, susceptible de ser aprovechada energéticamente. Las plantas transforman la energía radiante del sol en energía química a través de la fotosíntesis, y parte de esta energía queda almacenada en forma de materia orgánica.

**Biomasa subterránea:** Toda la biomasa de raíces vivas. Se excluyen raíces finas de menos de 2 mm de diámetro, porque difícilmente se distinguen de la materia orgánica del suelo.

**Biomasa aérea:** La conforman las estructuras leñosas aéreas de especies frutales, maderables y otros árboles y arbustos del sistema productivo.

**Hojarasca:** Materia orgánica que se encuentra en diferentes procesos de descomposición.

**Gei:** Es un gas atmosférico que absorbe y emite radiación dentro del rango infrarrojo. Este proceso es la fundamental causa del efecto invernadero.<sup>1</sup> Los principales GEI en la atmósfera terrestre son el vapor de agua, el dióxido de carbono, el metano, el óxido de nitrógeno y el ozono.

**Cambio climático:** Es un cambio en la distribución estadística de los patrones meteorológicos durante un periodo prolongado de tiempo (décadas a millones de años). Puede referirse a un cambio en las condiciones promedio del tiempo o en la variación temporal meteorológica de las condiciones promedio a largo plazo (por ejemplo, más o menos fenómenos meteorológicos extremos). Está causado por factores como procesos bióticos, variaciones en la radiación solar recibida por la Tierra, tectónica de placas y erupciones volcánicas. También se han identificado ciertas actividades humanas como causa principal del cambio climático reciente, a menudo llamado calentamiento global.

**Efecto invernadero:** Es un proceso en el que la radiación térmica emitida por la superficie planetaria es absorbida por los gases de efecto invernadero (GEI) atmosféricos y es reirradiada en todas las direcciones. Como parte de esta radiación es devuelta hacia la superficie y la atmósfera inferior, ello resulta en un incremento de la temperatura superficial media respecto a lo que habría en ausencia de los GEI.

**Theobroma cacao:** Es el nombre científico que recibe el árbol del cacao o cacaotero, planta de hoja perenne de la familia Malvaceae.

**Crecimiento diamétrico (CD):** calculado por medio de modelos no lineales , teniendo en cuenta diferentes estudios.

**Fotosíntesis:** La fotosíntesis es el proceso metabólico por el que las plantas verdes convierten sustancias inorgánicas (dióxido de carbono y agua) en sustancias orgánicas (hidratos de carbono) desprendiendo oxígeno debido a la transformación de energía luminosa en energía química producida por la clorofila.

La fotosíntesis es la alteración o conversión de materia inorgánica en materia orgánica debido a la energía que origina la luz. La energía lumínica se transforma en energía química estable, el adenonín trifosfato (ATP) es la primera molécula en la que queda depositada la energía química. Luego, el ATP se utiliza para sintetizar las moléculas orgánicas de mayor estabilidad.

### 1.5.3. Marco teórico

Se realizó una recopilación de información de gran importancia en la cual se encuentran los aspectos más relevantes a tener en cuenta para realizar la investigación de captura de carbono, entre las cuales esta lo expuesto por Rüginitz , Chacón y Porro(2009)

El método indirecto consiste en utilizar ecuaciones o factores de expansión que permitan relacionar algunas dimensiones básicas obtenidas en campo (...). Las ecuaciones alométricas para estimar la biomasa arbórea sobre el suelo están en función del tipo de vegetación y especie medida (plantaciones forestales en monocultivo, barbechos y bosques naturales o incluso para árboles dispersos) y tipo de componente (...). Para el caso de plantaciones forestales en monocultivo se recomienda establecer parcelas cuadráticas o rectangulares. El tamaño de la parcela deberá estar de acuerdo con el espaciamiento entre plantas (ej.: 2m x 2m, 3m x 2m) y el tamaño del dap a ser medido. Teniendo en consideración el costo y tiempo de establecer una parcela, se recomienda tener un mínimo de 20 árboles en cada parcela muestreada. Usualmente, para inventarios forestales de plantaciones comerciales, se utilizan parcelas de 10m X 10m (100 m<sup>2</sup>). Para facilitar la decisión sobre el tamaño de la parcela se puede utilizar las siguientes medidas: parcela de 2m X 2m para individuos con diámetro menor o igual a 5 cm; 10m X 10m para individuos con dap entre 5 a 20 cm y, 25m X 25m para individuos con dap mayor a 20 cm. Para estimar la biomasa total se utilizan ecuaciones alométricas.<sup>7</sup>

## Cambio climático

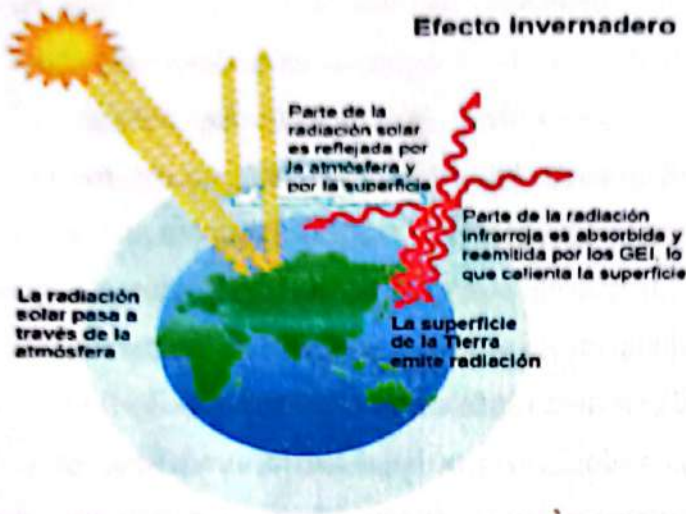
En el efecto invernadero actúa la radiación proveniente del Sol (predominantemente de onda corta) y la radiación emitida por la Tierra (de onda larga o infrarroja). La atmósfera tiene una gran capacidad de absorción de la radiación infrarroja (debido a la presencia de gases de "efecto invernadero" como el vapor de agua, el dióxido de carbono y en menor cantidad los gases trazas -metano, óxido nitroso y ozono troposférico). La opacidad de la atmósfera frente a la radiación infrarroja, relacionada con su transparencia a la radiación de onda corta, se denomina comúnmente efecto invernadero. Con este efecto se mantiene la temperatura de la superficie terrestre y de la tropósfera (parte inferior de la atmósfera

---

<sup>7</sup> Rüginitz, Chacón y Porro (2009). Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales I. Ed. Lima, Perú. Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) pag 9. Recuperado de: [http://www.katoombagroup.org/documents/tools/ICRAF\\_GuiaDeterminacionCarbono\\_esp.pdf](http://www.katoombagroup.org/documents/tools/ICRAF_GuiaDeterminacionCarbono_esp.pdf)

que se extiende desde la superficie hasta unos 10-15 km de altura) en un nivel que ha permitido el desarrollo de los ecosistemas naturales tal como los conocemos hoy. Parte del aumento observado en las temperaturas medias mundiales desde mediados del siglo XX se debe muy probablemente al aumento observado de las concentraciones de gas de efecto invernadero de origen antropogénico". La utilización de la expresión "muy probablemente", en el vocabulario del IPCC, representa una certidumbre mayor del 90%. La influencia humana a la que hace referencia el IPCC se debe básicamente a la quema de combustibles fósiles. Estas actividades producen un incremento de la concentración de gases de efecto invernadero (GEI2) en la atmósfera que alteran su equilibrio y tienden a calentar la superficie de la Tierra y de las capas bajas de la atmósfera. Existe en la actualidad un alto nivel de consenso acerca de que un aumento en la temperatura global de más de 2°C tendrá muy graves consecuencias. Entre otros impactos, se proyectan cambios a escala global y regional de la temperatura, de la precipitación y de otras variables climáticas, generando el derretimiento de grandes masas de hielo provocando así el aumento del nivel de los océanos; también se incrementará la frecuencia e intensidad de fenómenos climáticos extremos como olas de calor, inundaciones y sequías, la expansión de diversas enfermedades por modificación del área de influencia de vectores transmisores y el colapso de numerosos ecosistemas, todos efectos que impactan seriamente en las actividades socio-económicas en todas las regiones del mundo.

Figura 1. El efecto invernadero.



Recuperado en: Greenpeace(2010).

Las potenciales consecuencias del cambio climático no son uniformes en todo el planeta y dependen de diversos factores. La intensidad y la distribución de los efectos del cambio climático variarán de región en región. El cambio climático supone un importante factor adicional de presión sobre la capacidad de los sistemas naturales para proporcionar, de manera sustentable, los bienes y servicios necesarios para el desarrollo económico y social; en particular, para el abastecimiento de agua dulce, aire, alimentos, energía, salud y empleo.<sup>8</sup>

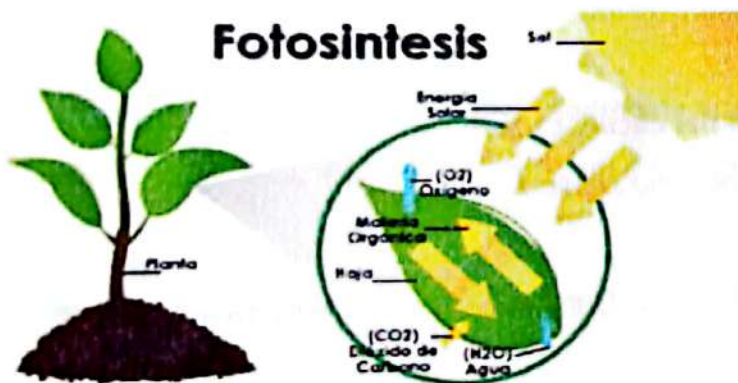
### El carbono y la fotosíntesis

El ciclo del carbono son las transformaciones químicas de compuestos que contienen carbono en los intercambios entre biosfera, atmósfera, hidrosfera y litosfera. Se inicia cuando las plantas o algas toman el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y lo utilizan para producir glucosa a través de la fotosíntesis. Es un ciclo de gran importancia para la supervivencia de los seres vivos en nuestro planeta, debido a que de él depende la producción de materia orgánica que es el alimento básico y fundamental de todo ser vivo...La vuelta de CO<sub>2</sub> a la

<sup>8</sup> Greenpeace (2009). Cambio climático: futuro negro para los páramos. Recuperado de: [http://www.greenpeace.org/colombia/Global/colombia/informes/informe\\_todo3.pdf](http://www.greenpeace.org/colombia/Global/colombia/informes/informe_todo3.pdf)

atmósfera se hace cuando en la respiración, los seres vivos oxidan los alimentos produciendo CO<sub>2</sub>. En el conjunto de la biosfera la mayor parte de la respiración la hacen las raíces de las plantas y los organismos del suelo y no, como podría parecer, los animales más visibles. Sin embargo, hay que tener en cuenta que los vegetales son productores netos de oxígeno libre y consumidores netos de CO<sub>2</sub>. Ello explica la baja proporción en volumen de CO<sub>2</sub> (menos del 0,03 % en volumen) y la mayor proporción de oxígeno (21 %) en la atmósfera lo cual era completamente a la inversa en la era azoica, cuando los vegetales no existían. Los productos finales de la combustión son CO<sub>2</sub> y vapor de agua. El proceso de la fotosíntesis por parte de los vegetales facilitó la vida tanto de los vegetales como de los animales. Los vegetales verdes que contienen clorofila toman el CO<sub>2</sub> del aire y durante la fotosíntesis liberan oxígeno, además producen el material nutritivo indispensable para los seres vivos. Como todas las plantas verdes de la tierra ejecutan ese mismo proceso diariamente, no es posible siquiera imaginar la cantidad de CO<sub>2</sub> empleada en la fotosíntesis.

Figura 2. la fotosíntesis



Recuperada de: carbonoparalavida (2010).

En la medida que el CO<sub>2</sub> es consumido por las plantas, también es reemplazado por medio de la respiración de los seres vivos, por la descomposición de la materia orgánica y como producto final de combustión del petróleo, hulla, gasolina, etc.<sup>9</sup>

<sup>9</sup> Anónimo (2017). El Carbono para el desarrollo y sustento de la vida. Recuperado de: <http://carbonoparalavida.blogspot.com.co/p/ciclo-del-carbono.html>

## Fijación de bióxido en la atmosfera.

Silva (citado por Bravo et al., 2013) afirma que la Fijación de CO<sub>2</sub> es un proceso que resulta de la fotosíntesis elaborada por las plantas, mediante el cual el dióxido de Carbono es absorbido y transformado en material orgánico o biomasa.

El mismo autor expone que la mayor actividad de fijación de CO<sub>2</sub> se presenta en la etapa vegetativa o de crecimiento de los árboles, en la etapa adulta y sobre madura la fijación se reduce, llegando a cero. Cuando el árbol muere, se inicia un proceso de descomposición, el CO<sub>2</sub> se libera volviendo a la atmósfera. De tal manera que si los árboles son longevos pueden retener el dióxido de carbono por muchos años, manteniendo un flujo continuo, ya que con la muerte de un árbol en el bosque, este deja el espacio para que varios árboles jóvenes ocupen el lugar e inicien el proceso de captura nuevamente del CO<sub>2</sub> liberado, manteniendo un constante equilibrio natural.<sup>10</sup>

## **CACAO** (*Theobroma cacao L*)

**Nombre común o vulgar:** Arbol del cacao, cacaotero

**Nombre científico o latino:** *Theobroma cacao L.*

**Familia:** Esterculiáceas.

**Origen:** originario de México y América Central. Su cultivo se ha extendido a regiones tropicales de África y Asia.

El cacao es una fruta tropical con la que se produce el chocolate, alcanza de 6 a 10 m de altura, aunque en cultivo se forma como arbusto de 2 ó 3 m de altura. El Árbol del cacao posee grandes hojas perennes y flores amarillas o rojizas, el fruto es una baya grande

---

<sup>10</sup> Bravo et al., (2013). Estimación de la captura de carbono en el suelo y materia orgánica muerta, en el sistema agroforestal con la especie capiron (*calycophyllum spruceanum*), en la vereda la primavera, municipio de Puerto Guzman, Putumayo. (tesis de pregrado). Instituto Tecnológico del Putumayo, Mocoa

(mazorca), ovoidea, de unos 25 cm de largo por 15 cm de ancho, de color pardo o rojizo cuando está maduro.

Hay dos tipos de cacao: uno es rojo y al madurar se transforman en morado y el otro es verde y cuando madura se torna amarillo, el árbol del cacao se cultiva por sus granos, los granos fermentados y desecados se elaboran en las fábricas de chocolate, tostándolos primero para que adquieran sabor y aroma. Después de enfriados, los granos se abren y se avientan las cáscaras, quedando la almendra o grano de la semilla abierta, el grano se muele y da una masa de cacao con un licor de chocolate, del cual se extrae, por prensado, la grasa del cacao (manteca de cacao).

#### Cultivo del árbol del cacao.

El árbol del cacao necesita humedad y calor, Clima húmedo, con una temperatura entre los 20°C y los 30°C, Clima con una precipitación anual de 1.500-2.000 mm.

El cacao es esencialmente un árbol de tierras bajas y su cultivo a más de 900 metros difícilmente tiene éxito.

Deben estar a la sombra, por lo cual normalmente se encuentran bajo árboles más grandes, palmeras o plataneras, Suelo rico en nitrógeno y en potasio.<sup>11</sup>

#### 1.5.4. Marco legal

#### CONSTITUCION POLITICA DE COLOMBIA 1991

Artículo 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.

---

<sup>11</sup> Infojardin (2002), árbol de cacao, cacaotero, recuperado de: [articulos.infojardin.com/frutales/fichas/cacao-cacaotero-theobroma-cacao.htm](http://articulos.infojardin.com/frutales/fichas/cacao-cacaotero-theobroma-cacao.htm)

**Artículo 80.** El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.

Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados.

Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas.

### **LEY 99 DE 1993**

Por la cual se crea el MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental –SINA y se dictan otras disposiciones.

**Artículo 3.** Del Concepto de Desarrollo Sostenible. Se entiende por desarrollo sostenible el que conduzca al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de la vida y al bienestar social, sin agotar la base de recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades.

**Artículo 5.** Funciones del Ministerio. Corresponde al Ministerio del Medio Ambiente: 1. Formular la política nacional en relación con el medio ambiente y los recursos naturales renovables, y establecer las reglas y criterios de ordenamiento ambiental de uso del territorio y de los mares adyacentes, para asegurar el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables y del medio ambiente;

DECRETO 2811 DE 1974 (Diciembre 18)

Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.

Artículo 9. El uso de elementos ambientales y de recursos naturales renovables, debe hacerse de acuerdo con los siguientes principios:

- a) Los recursos naturales y demás elementos ambientales deben ser utilizados en forma eficiente, para lograr su máximo aprovechamiento con arreglo al interés general de la comunidad y de acuerdo con los principios y objetos que orientan este Código;
- b) Los recursos naturales y demás elementos ambientales, son interdependientes. Su utilización se hará de manera que, en cuanto sea posible, no interfieran entre sí;
- c) La utilización de los elementos ambientales o de los recursos naturales renovables debe hacerse sin que lesione el interés general de la comunidad, o el derecho de terceros;
- d) Los diversos usos que pueda tener un recurso natural estarán sujetos a las prioridades que se determinen y deben ser realizados coordinadamente, para que se puedan cumplir los principios enunciados en los ordinales precedentes;
- e) Los recursos naturales renovables no se podrán utilizar por encima de los límites permisibles, que al alterar las calidades físicas, químicas o biológicas naturales, produzcan el agotamiento o el deterioro grave de esos recursos o se perturbe el derecho a ulterior utilización en cuanto ésta convenga al interés público;
- f) La planeación del manejo de los recursos naturales renovables y de los elementos ambientales debe hacerse en forma integral, de tal modo que contribuya al desarrollo equilibrado urbano y rural. Para bienestar de la comunidad, se establecerán y conservarán, en los centros urbanos y sus alrededores, espacios cubiertos de vegetación.

Artículo 13. Con el objeto de fomentar la conservación, mejoramiento y restauración del ambiente y de los recursos naturales renovables, el Gobierno establecerá incentivos económicos.

#### **DECRETO 298 DE 2016**

Por el cual se establece la organización y funcionamiento del sistema nacional de cambio climático y se dictan otras disposiciones.

Que el artículo 4° de la Ley 164 de 1994, "por medio de la cual se aprueba la 'Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático', hecha en Nueva York el 9 de mayo de 1992", estableció entre otros compromisos para el Estado Colombiano, los de "(b) Formular, aplicar, publicar y actualizar regularmente programas nacionales y, según proceda, regionales, que contengan medidas orientadas a mitigar el cambio climático, tomando en cuenta las emisiones antropógenas por las fuentes y la absorción por los sumideros de todos los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal y medidas para facilitar la adaptación adecuada al cambio climático; (e) Cooperar en los preparativos para la adaptación a los impactos del cambio climático (...); (f) Tener en cuenta, en la medida de lo posible, las consideraciones relativas al cambio climático en sus políticas y medidas sociales, económicas y ambientales pertinentes y emplear métodos apropiados (...)".

#### **CONPES 3700 Estrategia Institucional para la Articulación de Políticas y Acciones en Materia de Cambio Climático en Colombia**

Los impactos del cambio climático se han hecho evidentes en todo el mundo y algunos de los efectos se acentuarán en el futuro debido a las concentraciones de gases de efecto invernadero - GEI ya depositadas en la atmósfera. El creciente riesgo de enfrentar serios impactos por este fenómeno requiere el desarrollo urgente de estrategias adecuadas que preparen a Colombia para afrontar los retos que el cambio climático le impone y para que se sume a las iniciativas internacionales de reducción de emisiones de GEI.

#### **DECRETO 895 DE 2008**

Por la cual se modifica y adiciona el Decreto 2331 de 2007 sobre uso racional y eficiente de energía eléctrica. Mediante este decreto se acoge a los lineamientos del Protocolo de

Carbono Neutral para obtener la certificación de “Carbono cero” (CCC), ante el grupo consultivo para este Protocolo el cual se encuentra conformado por varias Organizaciones no Gubernamentales del mundo.

## 1.6. Estado del arte

En la actualidad, a nivel nacional existe una variedad de estudios realizados sobre la captura y almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con la especie de cacao entre los cuales se destacan:

Andrade, Figueroa y Silva (2013), quienes afirman que:

Estudios preliminares encontraron que las tasas de acumulación de carbono en hojarasca son altas en plantaciones jóvenes para luego ir disminuyendo con el tiempo. Se encontró que en los primeros 18 años se acumuló carbono en hojarasca a una tasa de 0.23 t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, pero luego esta disminuyó durante los siguientes 17 años a 0.02 t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Esto demuestra lo que indican muchos estudios: una vez se alcanza un máximo de acumulación de carbono en hojarasca, esta tiende a estabilizarse.<sup>12</sup>

Según Giraldo, Zapata y Montoya (2008), “se evidencia como alrededor del 30% del C fijado tanto en densidad de siembra alta (AD) y baja (BD) corresponde a la biomasa aérea de los árboles y representa un 40% más cuando se comparan con las áreas sin árboles”<sup>13</sup>.

Por otro lado Botero Botero E (2006) nos dice que, “en pasturas, la producción primaria neta por debajo de la superficie es la mayor fuente de carbono orgánico que entra al suelo, el cual se estima entre el 40 y 85% de la productividad primaria neta. Las mediciones de

---

<sup>12</sup> Andrade, Figueroa y Silva (2013). Almacenamiento de carbono en cacaotales (*Theobroma cacao* L) en armero-guayabal (tolima, colombia). *scientia agroalimentaria*, (1)  
Recuperado de: <http://repository.ut.edu.co/bitstream/001/1318/1/RIUT-LI-spa-2013-Almacenamiento%20de%20carbono%20en%20cacaotales%20%28Theobroma%20cacao%29%20en%20Armero-Guayabal%20%28Tolima%2C%20Colombia%29.pdf>

<sup>13</sup> Giraldo, Zapata y Montoya (2008). Captura y flujo de carbono en un sistema silvopastoril de la zona Andina Colombiana. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, (16)  
Recuperado de : <http://www.bioline.org.br/pdf?la08033>

productividad primaria neta generalmente ignoran las pérdidas debidas a la esencia y al recambio de las raíces de las plantas”<sup>14</sup>.

También cabe resaltar que en el ITP se han realizado tesis de investigación afines, en las cuales se utiliza el método directo y el indirecto para estimar la captura y almacenamiento de carbono, de las cuales nos podemos basar para realizar la presente investigación.

Una de estas es la presentada por Bravo, Muñoz, Muñoz y Pesillo(2013), que indica lo siguiente:

Para muestreo de hojarasca se recomiendan parcelas temporales aleatorias demarcadas utilizando un marco cuadrado de 0,25 m<sup>2</sup> (50 cm x 50 cm). Para el caso de muestreo de hojarasca en áreas forestales, estas parcelas pueden ser consideradas como una sub-parcela localizada en el interior de la propia parcela forestal establecida para el inventario. El proceso consiste en coleccionar todo el material localizado dentro de la parcela (marco). De cada muestra es hecha una sub-muestra (200 g) que deberá ser guardada en bolsas (plásticas o papel) debidamente identificado y enviado al laboratorio para secado en horno o en una estufa de aire forzado a 70 °C hasta obtenerse un peso constante. Se determina así la relación entre cantidad de humedad y la cantidad de carbono. Con los valores obtenidos se debe calcular el total de toneladas de materia seca por hectárea (ton. MS /ha) y posteriormente calcular la cantidad de carbono por hectárea (ton. C /ha)<sup>15</sup>.

La cual es de gran aporte para el desarrollo de la tesis, ya que en ella encontramos información de gran valor para el proceso de análisis, y elaboración de la propuesta.

---

<sup>14</sup> Botero (2006). Los sistemas silvopastoriles como sumideros de CO<sub>2</sub>. Biblioteca digital, (1), Recuperado de [http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6693/1/20061127115639\\_Sistemas%20silvopastoriles%20sumidero%20CO2.pdf](http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6693/1/20061127115639_Sistemas%20silvopastoriles%20sumidero%20CO2.pdf)

<sup>15</sup> Bravo, Muñoz, Muñoz y Pesillo (2013). Estimación de la captura de carbono en el suelo y materia orgánica muerta, en el sistema agroforestal con la especie capiron (*calycophyllum spruceanum*), en la vereda la primavera, municipio de Puerto Guzman, Putumayo. (tesis de pregrado). Instituto Tecnológico del Putumayo, Mocoa

## **1.7. Metodología**

### **1.7.1. Tipo de investigación**

En el estudio denominado Cuantificación de la captura y almacenamiento de carbono en la especie cacao (*theobroma cacao* L) en el municipio de Mocoa - Putumayo, este se realizara mediante investigación cuantitativa-cualitativa enfocándose en la descripción, para explicar de manera precisa las condiciones actuales y no limitándose a la recolección de datos, con el propósito de identificar las relaciones entre las variables.

**Línea:** protección y recuperación de ecosistemas.

**Sublínea:** Prospección de las potencialidades de uso de la biodiversidad.

### **1.7.2. Universo**

El área de objeto del presente estudio fue la finca Campo Alegre en la vereda Rumiyaco del Municipio de Mocoa, en el cual se realizara un recorrido para identificar las zonas de muestreo del sistema (SAF) constituido por la especie de cacao de con tres hectáreas de plantación.

#### **Unidades experimentales a tener en cuenta:**

Cultivo agroforestal con la especie cacao (*theobroma cacao* L) con un tiempo establecido de 6 años, cubierto de gramíneas de bajo porte (jengibre) y canaleta.

Cultivo agroforestal con la especie cacao (*theobroma cacao* L) con un tiempo establecido de 3 años, la cubierta vegetal es de gran porte (Verbena, yota y pasto alemán) y canaleta.

Cultivo agroforestal con la especie cacao (*theobroma cacao* L) con un tiempo establecido de 1/2 años, cubierto de gramíneas de mediano porte (yota, jengibre) y platano.

**Muestra:** Corresponderá a los tres (3) componentes del sistema que serán identificados para el presente estudio los cuales se categorizaran de acuerdo a los años establecidos y

luego en cada uno de ellos se realizara el inventario a 153 árboles de cada componente, para un total de 459 unidades a evaluar.

### 1.7.3. Diseño metodológico.

Para el logro del objetivo Estimar el carbono fijado en la biomasa aérea y biomasa subterránea del (SAF), se hizo el uso del método indirecto o la aplicación de ecuaciones alométricas descritas por (Rügnitz et al., 2008) presentadas en los siguientes recuadros.

Tabla 2. Ecuación alométrica para estimar la biomasa sobre del suelo (Kg de materia seca por árbol).

Ecuaciones Alométricas	Tipo de bosque	intervalo de DAP Medidos
$BAMS = \exp[-2.289 + 2.649 \cdot \ln(CD) - 0,021 \cdot (\ln(CD))^2]$	Maderas duras de zonas tropicales húmedas	5 – 148
<p>Dónde:</p> <p>BAMS: biomasa arbórea materia seca, en kg de materia seca por árbol (kg Ms/a)</p> <p>CD : Crecimiento diametrico, en cm.</p> <p>ln : logaritmo natural.</p> <p>exp : “elevado a la potencia de”</p> <p>H: altura (m).</p>		

Fuente: UTCUTS 2003 citando a Brown 1997; Brown y Schroeder 1999; Schroeder et al. 1997.

Cuadro 1. Estimación de la biomasa arbórea en materia seca (Tn Ms/Ha).

$$BAMs/Ha = (BAMs \times n) / 1000$$

Dónde:

**BAMs/Ha:** Biomasa arbórea materia seca por hectárea (Tn Ms/Ha);

**BAMs BPMs:** biomasa sobre del suelo de materia seca por árbol o palma (Kg. Ms. /árbol-palma);

**Factor 1000** = Conversión de las unidades de la muestra de Kg. Ms por Tn. Ms

**n:** número de árboles o palmas del sistema

Fuente: (Rügnitz et al., 2008).

Cuadro 2. Calculo del stock de carbono en la biomasa arbórea por hectárea.

$$\Delta CBA = (BAMs/ha \times CF)$$

Dónde:

$\Delta CBA$  = Cantidad de carbono en la biomasa sobre del suelo (Tn. C/ha);

**BAMs/ha** = Biomasa arbórea materia seca por hectárea (Tn ton Ms/ha)

**CF** = Fracción de carbono (ton. C /ha. Ms). El valor padrón del IPCC para CF = 0,5.

Fuente: (Rügnitz et al., 2008).

Cuadro 3. Estimación de biomasa radicular por el método indirecto. Fórmula válida para bosques tropicales.

$$BSR = \exp[-1,0587 + 0,8836 \cdot \ln(BAMs/He)]$$

Dónde:

**BSR** = biomasa de la raíz en toneladas por hectárea de materia seca (Tn. MS/ha)

**ln** = logaritmo natural.

**exp** = "elevado a potencia de"

**BAMs/He** = biomasa arbórea en toneladas por hectárea de materia seca (Tn. Ms/ha)

Fuente: (Rügnitz et al., 2008).

Cuadro 4. Estimación de la biomasa subterránea en toneladas de masa seca por hectárea por el método indirecto

Fuente: (Rügnitz et al., 2008).

$$BR = (BSR \times n) / 1000$$

Dónde:

**BR:** Biomasa sobre del suelo raíz (Tn. MS/ha);

**BSR:** biomasa seca raíz (Kg. M.S./raíz);

**Factor 1000** = Conversión de las unidades de la muestra de Kg. MS por Tn. MS

**N:** número de raíces del sistema.

Cuadro 5. Calculo del stock de carbono en la biomasa raíz arbórea por hectárea.

$$\Delta CBR = BR * CF$$

Dónde:

**$\Delta CBR$** = Cantidad de carbono en la biomasa sobre del suelo (Tn. C/ha);

**BR** = Biomasa sobre del suelo arbórea (Tn. MS/ha);

**CF** = Fracción de carbono (ton. C / Tn. MS). El valor padrón del IPCC para CF = 0,5.

Fuente: (Rügnitz et al., 2008).

En cuanto al objetivo Determinar el carbono fijado en la hojarasca de cacao del (SAF), este se realizó mediante el uso directo o haciendo recolección de la biomasa siguiendo los siguientes pasos.

Establecer parcelas aleatorias utilizando un marco cuadrado de 0,25 m<sup>2</sup> (50 cm x 50 cm), con 5 repeticiones en cada componente.

- ✓ Colectar y pesar todo el material localizado dentro de la parcela (marco).
- ✓ Obtener una sub-muestra que será debidamente rotulada y llevada al laboratorio para secarla al horno a 70 °C hasta obtener un peso constante.
- ✓ Determinar la relación entre cantidad de humedad y la cantidad de carbono mediante las ecuaciones de (Rügnitz et al., 2008).

Cuadro 6. Cálculo de materia seca en hojarasca de cacao.

$$MS_{muestra} = (MF_{sub-muestra} / M_{Sub-muestra}) \times MF_{muestra}$$

Donde:

**MS muestra:** materia seca de la muestra (Kg/0.25 m<sup>2</sup>).

**MF sub-muestra:** materia fresca (Kg) de la sub-muestra llevada para la determinación de la cantidad de humedad.

**M Sub-muestra:** materia seca (Kg) de la sub-muestra llevada para la determinación de la cantidad de humedad.

**MF muestra:** materia fresca de la muestra (Kg/0.25 m<sup>2</sup>).

Fuente: (Rügnitz et al., 2008).

Cuadro 7. Cálculo de la cantidad de carbono en la muestra de hojarasca de cacao.

$\Delta\text{CBN muestra} = \text{MS muestra} * \text{CF}$

Donde:

**$\Delta\text{CBN muestra}$ :** Cantidad de carbono en la biomasa de la muestra (Kg C/0,25 m<sup>2</sup>).

**CF:** es la fracción de carbono (Kg. C /Kg. MS) determinada en el laboratorio o utilizando el valor padrón del IPCC = 0.5 .

Fuente: (Rügnitz et al., 2008).

Cuadro 8. Cálculo de la cantidad de carbono en la biomasa de hojarasca de cacao por hectárea.

$\Delta\text{CBN (ton. C/ ha)} = (10000 \text{ m}^2 / 0.25 \text{ m}^2) \times ((\Delta\text{CBN muestras} / \text{número de muestras}) / 1000).$

Donde:

**$\Delta\text{CBN}$ :** Cantidad de carbono en la biomasa de vegetación no arbórea (ton. C/ ha);

**$\Delta\text{CBN muestras}$ :** sumatoria de la cantidad de carbono de todas las muestras (Kg. C/ 0.25 m<sup>2</sup>).

**Factor 1000:** conversión de las unidades de la muestra de Kg. MS para ton. MS

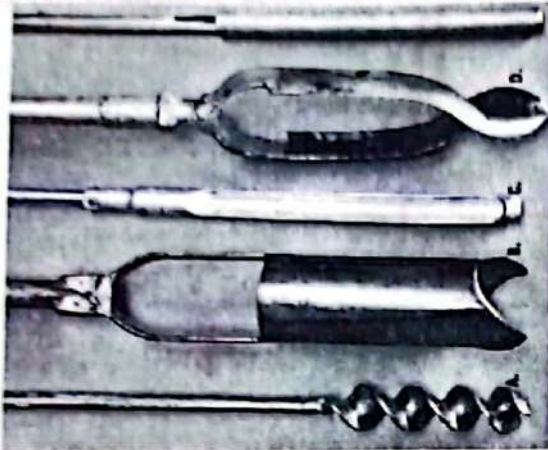
**Factor 10000:** conversión del área a hectárea.

Fuente: (Rügnitz et al., 2008).

Para el logro del objetivo Cuantificar el carbono orgánico almacenado en el suelo del (SAF) se realizó el procedimiento descrito a continuación.

Los sitios de muestreo serán los mismos donde se ubicara la parcela de (0.25 m<sup>2</sup>), haciendo uso de un barreno como se muestra en la siguiente figura.

Figura 3. Tipos de barreno para muestreo de suelo.



Fuente: (Rügnitz et al., 2008).

La profundidad de muestreo dependerá de las condiciones del área, especies utilizadas, y profundidad prevista en que ocurrirán cambios en el stock de carbono del suelo. Generalmente, las concentraciones de carbono orgánico del suelo son más altas en su camada superior y disminuyen exponencialmente conforme aumenta la profundidad. Por tanto la profundidad será de por lo menos 30 cm, dividiendo esta en tres horizontes (0-10, 10-20, 20-30 cm). Esta es la profundidad en que probablemente ocurrirán variaciones perceptibles en el depósito de carbono.

Las muestras deben ser mezcladas (homogenizadas) en un mismo recipiente, para en seguida retirarse una muestra compuesta (200 g).

Se rotulan y se depositan en un saco (de papel o plástico) para ser llevada al laboratorio.

Cada una de las muestras de suelo debe ser colectada con mucho cuidado para evitar la pérdida de material.

Una vez obtenidos los datos obtenidos en el laboratorio se calculara el carbono en suelo mediante la ecuación propuesta por Alvares (2010).

Cuadro 9. Ecuación de cálculo de carbono.

$$C = a * \delta(t/m-3) * Pm * fc (1)$$

Dónde:

a: área (ha)

$\delta$ : densidad aparente del suelo en (t/m<sup>3</sup>)

Pm: profundidad de muestreo (m)

Fc: fracción de carbono (%C/100) (resultado del análisis de suelo)

Fuente: Alvares (2010)

Cuadro 10. Calculo del stock de carbono en el suelo.

$$\Delta Cs = C * CF$$

Dónde:

C: Carbono en el suelo.

CF: Fracción de carbono (Tn. C /ton. MS). El valor padrón del IPCC para CF= 0,5.

Fuente: (Rügnitz et al., 2008).

## 2. Resultados y discusión

La investigación se realizó en un cultivo de tres (3) hectáreas de cacao acompañado de plátano y otras pocas especies arbóreas que presenta el lugar de estudio.

Finca Campo Alegre, parte experimental ubicada en el Municipio de Mocoa, departamento del Putumayo, presenta terreno plano.

Con relación a todos los puntos estudiados se da inicio a la investigación con tres claros objetivos que se desarrollaron de la siguiente manera:

Estimar el carbono fijado en la biomasa aérea y biomasa subterránea del (SAF) en este objetivo el primer paso a realizar es la búsqueda de los materiales por medio del Instituto Tecnológico del Putumayo (ITP) quienes nos brindan el préstamo de las herramientas a emplear; después de adquirir los utensilios (regleta para la altura y pie de rey para el CD) se procede a realizar de manera aleatoria y al azar la selección de las 148 plantas de cacao por ha que nos brindaron la información de los parámetros estudiados en cada una de las hectáreas; lo cual se presenta a continuación.

figura 4. Registro toma de datos altura y CD.



Fuente: presente investigación 2017.

Determinar el carbono fijado en la hojarasca y detritos del (SAF):

para dar cumplimiento a este objetivo se inicia mediante un recorrido al lugar de estudio, seguido de la búsqueda de los marcos a geo-referenciar y experimentar;

una vez delimitado las parcelas con medidas de (0.25m<sup>2</sup>) se da inicio a la recolección de hojarasca y detritos que presenta el lugar muestreado en cada uno de los tres puntos por hectárea que se decide realizar para hacer un promedio general en cada cultivo y pesar todo el material localizado dentro de la parcela (marco)..

Posteriormente se llevan a laboratorio las muestras correspondientes para realizar el respectivo secado en el horno a 70 °C hasta obtener un peso constante como se presenta a continuación:



Fuente: presente investigación 2017.

Empleando una serie de materiales que se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Materiales empleados para la recolección de hojarasca de cacao.

MATERIALES	CANTIDAD (unidades)
Cinta métrica	2
Jalones	8
Bolsa plástica	15
Bolsa de papel	15
Pesa gramera	1
Horno de secado	1

Fuente: presente investigación 2017.

Cuantificar el carbono orgánico almacenado en el suelo del (SAF): en este objetivo se inicia con la búsqueda de los materiales y herramientas necesarias para realizar el muestreo en cada uno de los cultivos de 1.5, 3 y 6 años respectivamente de las plantaciones de cacao, que se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Herramientas empleadas para la cuantificación de carbono orgánico almacenado en el suelo.

MATERIALES	CANTIDAD (unidades)
Pala y/o barreno	2
Recipiente plástico	2
Bolsa plástica	15
Cinta métrica	2
Halones	8
Etiquetas	8

Fuente: presente investigación 2017.

El diseño metodológico empleado para dar cumplimiento a este objetivo se divide en tres (3) partes; en primer lugar se partió del mismo sitio de muestreo y punto de referencia y/o marco ya establecido para la hojarasca y detritos con las medidas de (0.25m<sup>2</sup> y una profundidad de 30cm) donde se hace uso del barreno para efectuar el punto de muestreo; continuo a lo anterior, las muestras obtenidas son mezcladas (homogenizadas) en un mismo recipiente, para en seguida retirarse una muestra compuesta (200 g); consecuente a ello, se rotulan y se depositan en un saco (de papel o plástico) posteriormente son enviadas al laboratorio y finalmente una vez obtenidos los datos de laboratorio se calculara el carbono en suelo mediante la ecuación propuesta por Alvares (2010).

Por tanto, a continuación se presentan las evidencias de manera general del respectivo muestreo realizado en campo en las diferentes hectáreas de las plantaciones de cacao.

Figura 6. Registro toma muestra de suelo compuesta.



Fuente: presente investigación 2017.

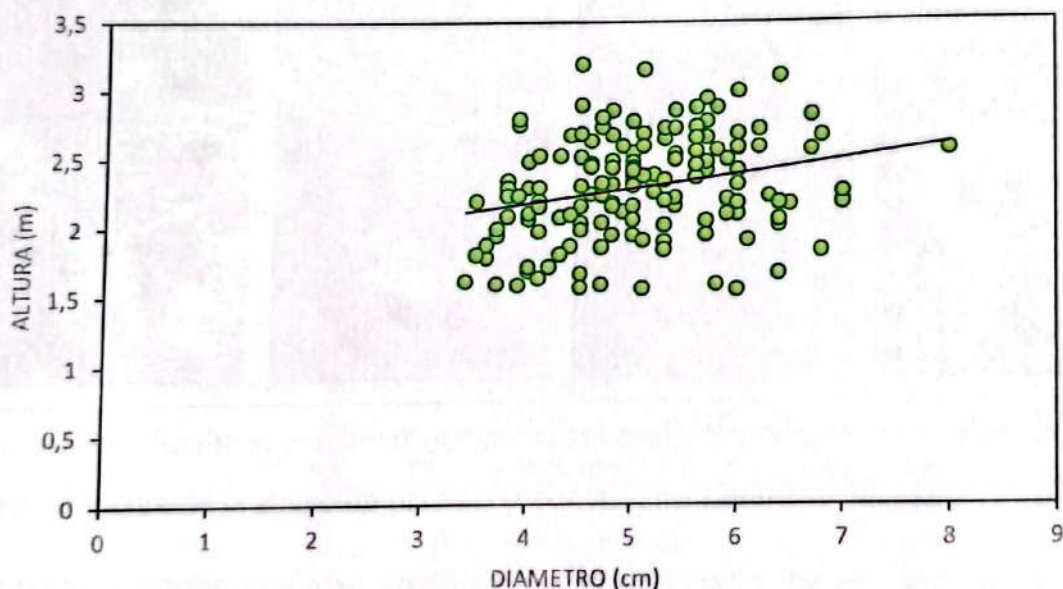
En la determinación del inventario se realizaron las mediciones del crecimiento diamétrico (CD) y de altura (H) para el cultivo de cacao (*teobroma cacao* L) con tiempos de plantación de 1 ½, 3 y 6 años (ver anexo 1, 2 y 3), una vez obtenidos estos datos se aplicaron las

ecuaciones alométricas para estipular el contenido de stock de C sobre del suelo en el sistema.

Análisis estadístico de la altura (H) en función del CD.

La (H) y el (CD) se determinó mediante la fórmula Lineal:  $Y = a + b \cdot X$  y el programa estadístico STATGRAPHICS Centurión, mostrando que  $P < 0.05$  y los valores estuvieron dispersos entre los rangos de 2.5 y menores de 2 m grafica 1, esto significa que a esta edad de plantación los arboles no estabilizan el CD y presenta variaciones en la composición de este factor.

Grafica 1. Relación de (H) y (CD) en la plantación de 1 ½ años.



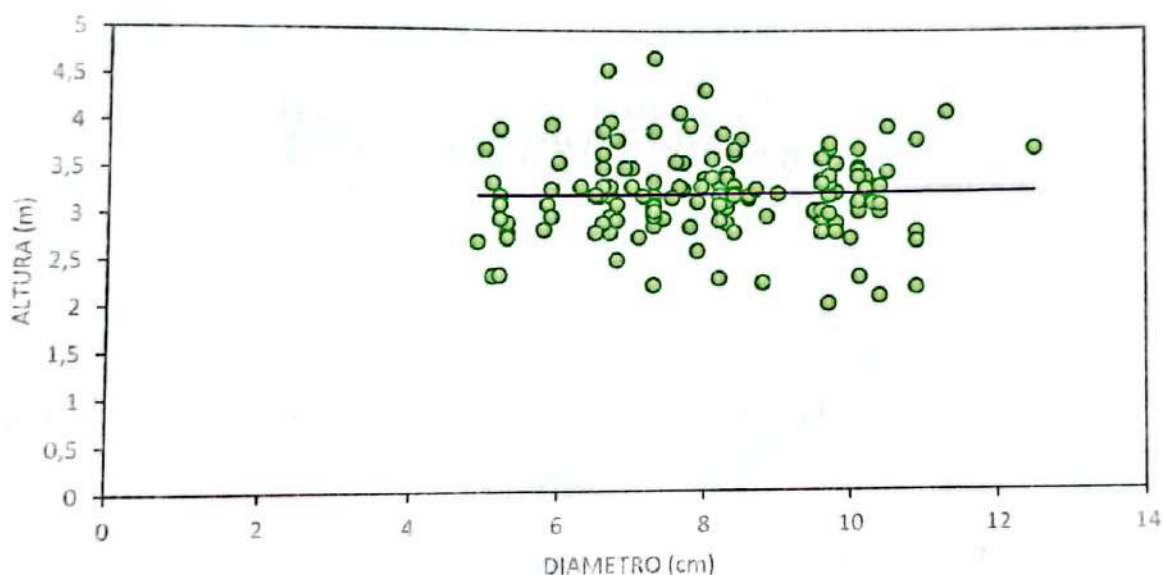
Fuente: presente investigación 2017.

La grafica 1 muestra la relación alométrica entre la altura total (H) expresada en metros en función del crecimiento diámetro (CD) medido en centímetros, el exploratorio estadístico  $R^2$  indica que el modelo explica un 6.34% de variabilidad en la (H), por tanto, se establece que los sistemas productivos en la transformación de su masa forestal en función de la

altura reportan resultados favorables, según Jadán *et al* (2012)<sup>16</sup>, “los sistemas agrícolas como el cacao propagado por semilla es el ecosistema productivo que almacena la mayor cantidad de C con un promedio de 141.4 Mg C ha<sup>-1</sup>”.

Con respecto al cultivo de tres (3) años de plantación se obtuvieron los resultados mostrados en la gráfica 2, la estimación de estos valores mostro que  $P > 0.05$  indicando que en este tipo de sistema se tiende a estabilizar la altura con el CD.

Gráfica 2. Relación de (H) y (CD) en la plantación de 3 años.



Fuente: presente investigación 2017.

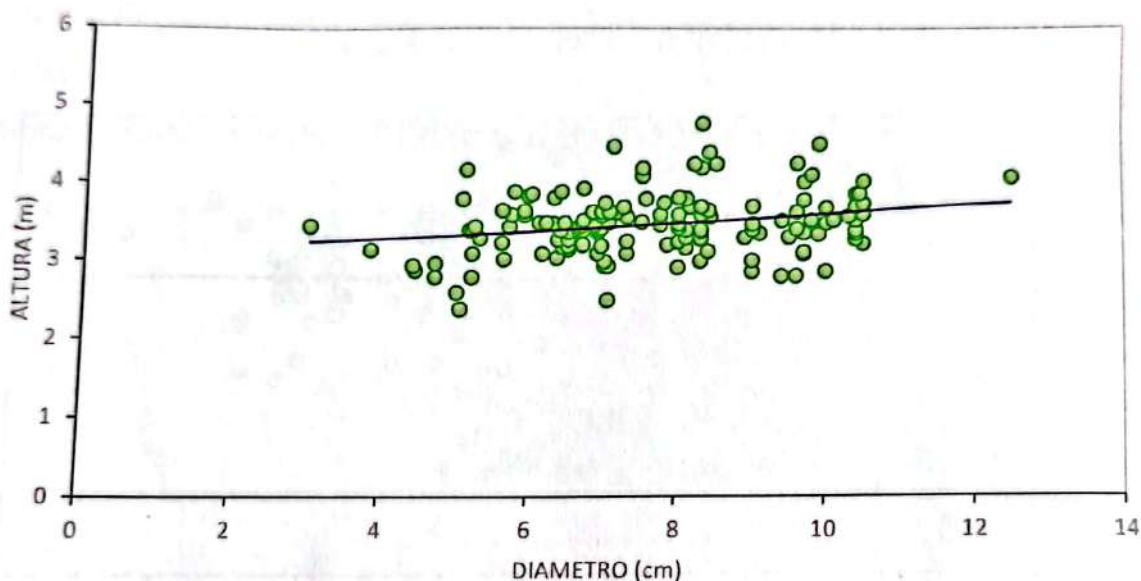
Como se aprecia en la gráfica 2 los datos más agrupados correspondieron entre 2.8 y 3.4 m de altura, el ajuste para  $R^2$  fue de 0.04% con tendencia mayormente estabilizada que el del sistema anterior, se puede decir al respecto que tras lo efectuado, además se observó que a mayor CD no existe mayor altura lo cual indica que la plantación no crece a grandes alturas

<sup>16</sup> Jadán et al. Influencia del uso de la tierra sobre almacenamiento de carbono en sistemas productivos y bosque primario en Napo, Reserva de Biosfera Sumaco, Ecuador. recuperado de: <<https://www.uea.edu.ec/cipca/images/revista-cientifica-articulo-2-vol-1-N-3BTORRES.pdf>> [citado en 20 de diciembre de 2017]

y su formación en las etapas de crecimiento presenta una correlación positiva, es decir el CD no varía con la altura.

En cuanto a la plantación de seis (6) años reporto lo mostrado en la gráfica 3, el modelo estadístico mostro que  $P < 0.05$ , lo que indica relación con la (H) para el cultivo de 1 ½ y diferencias con el de 3 años.

Gráfica 3. Relación de (H) y (CD) en la plantación de 6 años.



Fuente: presente investigación 2017.

En la gráfica 3 se muestran los rangos agrupados correspondientes a los valores de 2.9 a 3.3 m de altura, con ajuste de  $R^2 = 5.056\%$  indicando que en esta edad el cultivo tiende a desestabilizar nuevamente el CD, probablemente por las condiciones agropecuarias, manejo del cultivo y que los arboles tiende a ganar altura.

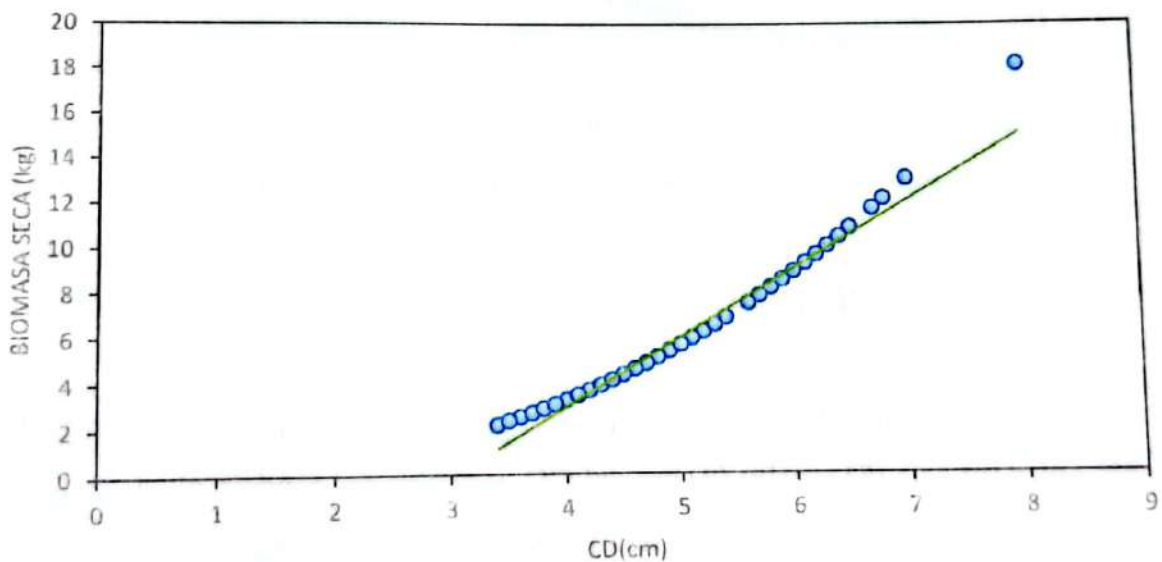
Las consideraciones observadas durante la toma de muestras en el campo hacen prever que este tipo de cultivo tiende mantener una altura constante después de los tres años de plantación, sin embargo, el sombrío y el manejo del cultivo mediante las podas hacen que presente variaciones al inicio y al final del proceso de formación forestal.

Análisis estadístico de la biomasa aérea en materia seca (BAMS) en función del CD.

El modelo estadístico se desarrolló mediante la ecuación alométrica  $BAMS = \exp[-2.289 + 2.649 \cdot \ln(cd) - 0,021 \cdot (\ln(cd))^2]$  y representado gráficamente para cada edad del sistema.

En este componente se determinaron las cantidades de materia seca en función del CD gráfica 4, para el cultivo de 1 ½ se determinó que  $P < 0.05$  estableciendo que a esta edad el cultivo presenta significancias de esta variable.

Grafica 4. Relación de BAMS y CD para la plantación de 1 ½ años.

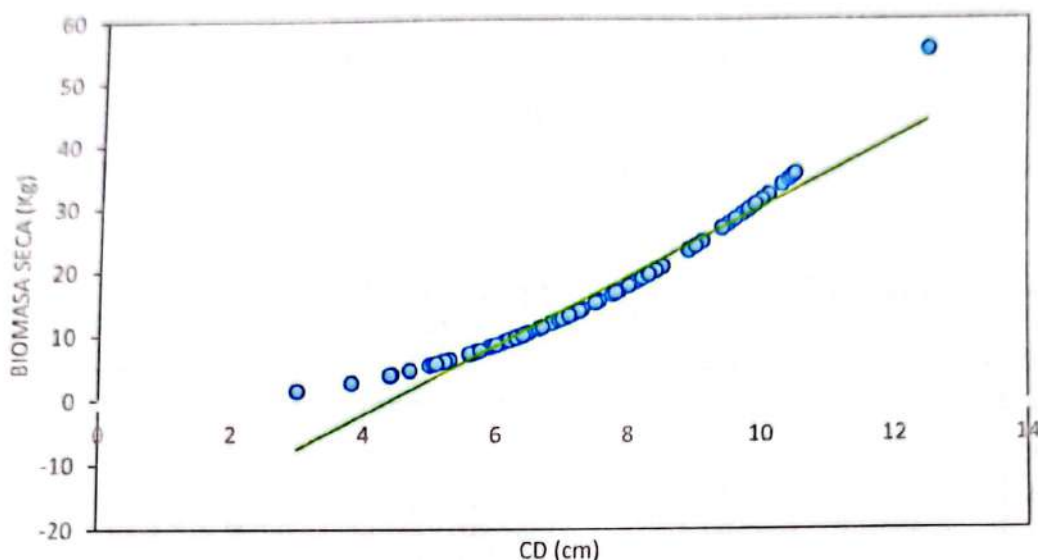


Fuente: presente investigación 2017.

La grafica 4 permite observar que la composición de materia seca tiende a aumentar con el CD por tanto es una variable dependiente, el ajuste de  $R^2$  fue de 2.66% indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. Además, se considera que el CD es una de las variables de fácil medición y mayor precisión que la altura.

Respecto a la plantación con tres (3) años de edad se estimaron los valores obteniendo que  $P < 0.05$  estableciendo una relación estadísticamente significativa entre BMS y CD con un nivel de confianza del 95.0%, y su proporción se muestra en la siguiente gráfica.

Grafica 5. Relación de BAMS y CD para la plantación de 3 años.

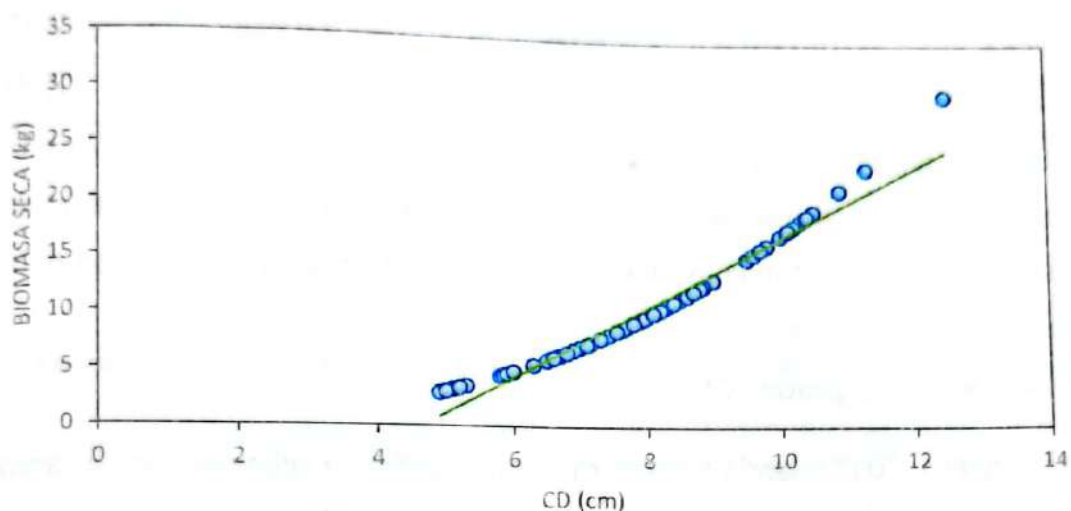


Fuente: presente investigación 2017.

Como se aprecia en la gráfica 5 la agrupación de los valores para este componente se presentó entre los seis (6) y ocho (8) cm del CD, y dentro del modelo ajustado  $R^2$  reporto un 2.6% indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. Estas consideraciones permiten establecer que las variables en esta edad del cultivo tienden a estabilizar en función del desarrollo vegetal.

En el componente de seis (6) años se encontró que  $P < 0.05$  estableciendo una relación estadística significativa entre BAMS Y CD con un nivel de probabilidad del 95% y su independencia se relaciona en la siguiente gráfica.

Grafica 6. Relación de BAMS y CD para la plantación de 6 años.



Fuente: presente investigación 2017.

La grafica 6 describe la relación entre estas variables para lo cual los datos de biomasa se agrupan en los intervalos siete (7) y nueve (9) cm. El análisis  $R^2$  indica un modelo ajustado que se explica en 3.8% determinando una fuerte relación entre las variables. La desviación estándar para el estimado indica un 0.980691 de residuos; que se pueden usar para nuevas observaciones.

En cuanto a la biomasa radicular de los tres (3) componentes se establecieron que de menor a mayor los datos correspondieron a 0.98, 2.43 y 2.80 ton/ha para las edades de cultivo de 1.5, 3 y 6 años conjuntamente.

Tabla 5. Biomasa radicular en materia seca para los tres componentes.

BIOMASA RADICULAR EN MATERIA SECA				
Componente	BAMS (Kg)	BRMS (Kg/ha)	BR (MS Tn/ha)	$\Delta$ CBR (Tn. C/ha)

Cacao 1,5 años	5.81	1.64	1.97	0.98
Cacao 3 años	16.17	4.06	4.87	2.43
Cacao 6 años	18.95	4.67	5.60	2.80

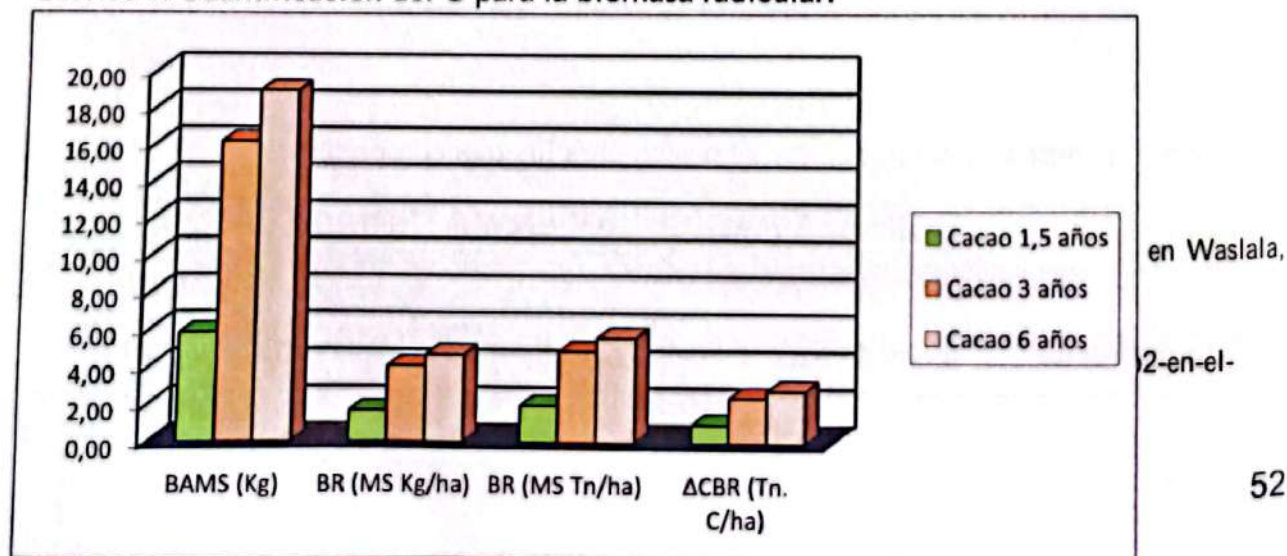
Dónde: **BAMS (Kg)**: biomasa de la muestra seca en kilogramos, **BRMS(Kg/ha)**: biomasa radicular de la materia seca Kilogramo/hectárea, **BRMS(Tn/ha)**: biomasa radicular de la materia seca Tonelada/hectárea, **ΔCBR (Tn. C/ha)**: contenido de carbono en la biomasa radicular Tonelada/hectárea.

Fuente. Presente investigación 2017.

Según (Poveda et al 2013 citando a Somarriba et al. 2008)<sup>17</sup> la acumulación de carbono en la biomasa de los árboles en las fincas es una alternativa para los productores rurales en los trópicos estimar tasas de fijación de carbono atmosférico, además si se tiene en cuenta la alta disponibilidad de horas luz que permiten el crecimiento acelerado de los árboles. El mercado de bonos de carbono consiste en combatir las grandes emisiones de gases contaminantes que hacen los países industrializados mediante el patrocinio y financiamiento, por parte de estos, de la conservación de bosques que capturen estas partículas a largo plazo, lo que harían también las plantaciones de cacao Unimedios (2012)<sup>18</sup>.

Las estimaciones de materia seca para cada edad de cultivo se muestran en la gráfica 7, para cada valor se valoró desde la unidad de kilogramos para luego determinar los valores en tonelada por hectárea.

Grafica 7. Cuantificación del C para la biomasa radicular.



Fuente: Presente investigación 2017.

Barrios et al 2014<sup>19</sup> menciona que es difícil definir relaciones exactas entre biomasa de raíces y de parte aérea, pero se acepta que debe existir un equilibrio entre las actividades de los dos sistemas, estos argumentos permiten describir que las acumulaciones varían de acuerdo al componente radicular y/o arbóreo, de acuerdo a lo observado en el campo con relación a estas variables se puede decir que las raíces se ven más afectadas por ataques de hongos y plagas por lo que se ven afectadas en los procesos de fijación de carbono.

Con proporción a la biomasa arbolea de los tres (3) sistemas se puede determinar de orden ascendente que 1.74, 4.85 y 5.63 Ton. C/Ha correspondieron a 1.5, 3 y 6 años de edad respectivamente tabla 6.

Tabla 6. Biomasa arbórea en materia seca para los tres componentes.

BIOMASA ARBÓREA EN MATERIA SECA				
Componente	CD (cm)	BAMS (Kg)	BAMS (Tn/Ha)	ΔCBA (Tn. C/ha)
Cacao 1,5 años	5.07	5.81	3.48	1.74
Cacao 3 años	7.64	16.17	9.70	4.85
Cacao 6 años	8.15	18.95	11.37	5.68

<sup>19</sup> BARRIOS et al. Relación biomasa de raíz/biomasa total de soja (*glycine max*) en dos sistemas de labranza En: Terra latinoamericana [en línea]. No. 3 (2014) < <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v32n3/2395-8030-tl-32-03-00221.pdf> > [citado el 11 de diciembre de 2017]

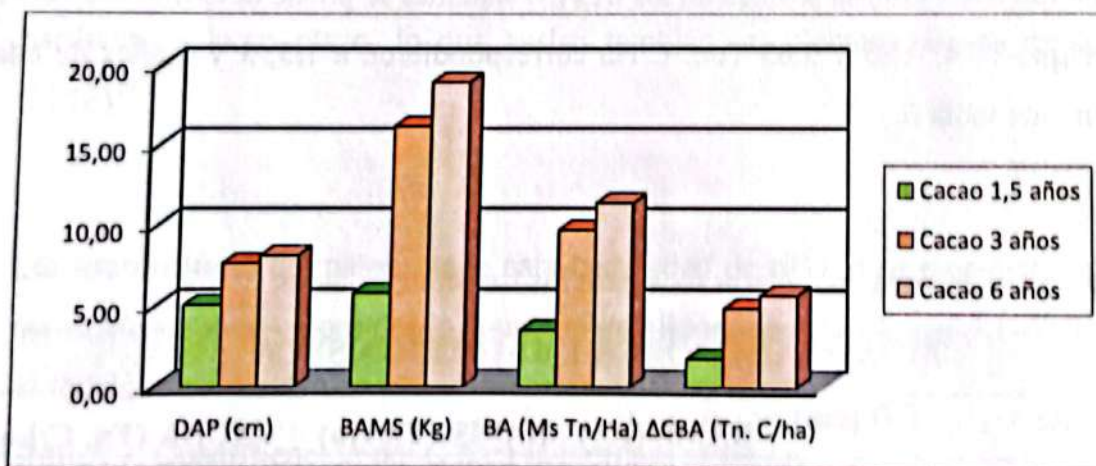
Dónde: **CD (cm)**: Crecimiento diamétrico en centímetro, **BAMS (Kg)**: biomasa arbórea de la materia seca en kilogramos, **BAMS (Tn/ha)**: biomasa arbórea de la materia seca en tonelada/hectárea, **ΔCBA (Tn. C/ha)**: contenido de carbono de la biomasa seca en tonelada/hectárea.

Fuente: presente investigación 2017.

El componente de mayor reporte como muestra la tabla 6 fue el de seis (6) años de edad con lo que resulta enfatizar que el ΔCBA es directamente proporcional al CD, es decir, a medida que el árbol desarrolla su condición vegetal así mismo influirá en la captura o almacenamiento de C.

Estudios realizados por ANDRADE et al (2013)<sup>20</sup> reporta que 28.8 y 33.6 t C ha en biomasa arriba del suelo a los 18 y 35 años, respectivamente, con diferencias leves entre las edades de las plantaciones especialmente en sistemas agroforestales con cacao en la Región de Tolima, Colombia.

Grafica 8. Cuantificación del C para la biomasa arbórea.



Fuente: presente investigación 2017.

<sup>20</sup> Andrade et al (2013). Almacenamiento de carbono en cacaotales (*theobroma cacao* L) en armero-guayabal (Tolima, Colombia). Recuperado de: [file:///C:/Users/HP14%20D043LA/Downloads/24-26-1-PB%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/HP14%20D043LA/Downloads/24-26-1-PB%20(3).pdf) [citado el 11 de diciembre de 2017]

La cantidad de carbono que se almacena en la biomasa arbórea  $\Delta$ CBA (Tn. C/ha) pasa a ser una medida relevante para la política pública. El total de carbono almacenado en la biomasa seca se dio en orden descendente dependiendo la edad del cultivo de cacao siendo el de mayor cantidad en la hectárea de 6 años con 5.68 ton/ha, continuando con el de 3 años con 4.85 ton/ha y terminando con el de 1.5 años con 1.74 ton/ha indicando que a mayor edad, mayor contenido de carbono en la biomasa seca por ha. Para obtener toda esta serie de datos fue necesario realizar la toma de datos de altura y CD a 148 árboles por hectárea como se puede observar en las siguientes figuras.

Figura 7. Toma datos de altura.



Fuente: presente investigación 2017

Figura 8. Toma datos CD.



Fuente: presente investigación 2017

En las figuras 7 y 8 se muestra la toma de altura y CD de los árboles de cacao (teobroma cacao) con ayuda de una regleta de topografía para altura y en la toma de CD con ayuda de un pie de rey, este muestreo se realizó aleatoriamente con el fin de obtener un promedio de altura por ha.

Análisis estadístico estimación de carbono en hojarasca y detritos.

La estimación de C en hojarasca y detritos se realizó mediante la ecuación alométrica  $MS_{muestra} = (MF_{sub-muestra}/M_{sub-muestra}) * MF_{muestra}$ ; en la cual se muestran los resultados en la siguiente tabla 7.

Tabla 7. Biomasa fresca seca y stock de C para los tres componentes.

<b>BIOMASA EN HOJARASCA Y DETRITOS EN MATERIA SECA</b>						
<b>COMPONENTE</b>	<b>BFM (Kg)</b>	<b>BFSM (Kg)</b>	<b>BSSM (gr)</b>	<b>BSM (Kg)</b>	<b>ΔCBM (Ton. C/ha)</b>	<b>ΔCBHyD (Ton. C/ha)</b>
1,5 años	0.05	0.016	0.0099	0.082	0.041	0.55
3 años	0.19	0.062	0.04818	0.242	0.121	1.61
6 años	0.32	0.106	0.07315	0.459	0.229	3.06

Dónde: **BFM**: biomasa fresca de la muestra, **BFSM**: biomasa fresca de la sub-muestras, **BSSM**: biomasa seca de la sub-muestras, **BSM**: biomasa seca de la muestra, **ΔCBM**: contenido de Carbono de la biomasa de la muestra, **ΔCBHyD (Ton. C/ha)**: contenido de Carbono en la hojarasca y detritos toneladas de Carbono por hectárea.

Fuente: presente investigación 2017.

La regresión simple determino que  $P < 0.05$  estableciendo que existe diferencia significativa entre la BS y el contenido de C, además  $R^2$  reporto un modelo ajustado de 100% lo que indica una relación relativamente fuerte entre las variables, es decir, a diferencia del contenido de C en el CD los datos no alcanzaron el tope máximo de viabilidad

Según (Corral 2006 Citando a Aristizabal et al 2002)<sup>21</sup>, menciona que las plántulas de cacao a la edad de seis años de edad, almacenan 4.09 Ton. C/ha con densidad poblacional de 833 plantas por hectárea. De acuerdo a lo anterior y como se aprecia en la tabla 7 estos valores estuvieron muy cerca para el componente evaluado, por tanto los sistemas de cacaotales se consideran mitigadores del cambio climático por capturar C en materia orgánica y detritos. Además, la hojarasca provee al suelo de protección en contra de erosión, daño por goteo de lluvia y también lo protege del crecimiento de arvenses Guadalupe et al (2009)<sup>22</sup>.

Con relación al incremento de los porcentajes de acuerdo al componente aumentaron de 17.8, 34.8 y 47.3 para las edades de 1.5, 3 y 6 años respectivamente, esto indica que los arboles a medida del crecimiento liberan mayormente hojarasca como mecanismo forestal, esto demuestra que los sistemas agroforestales con cacao tienen una alta capacidad de almacenamiento y fijación de carbono y pueden constituirse en un importante mecanismo que permita a los pequeños productores acceder a un pago por servicios ambientales bajo este tipo

Estas consideraciones admiten establecer que los sistemas agroforestales cumplen diferentes propósitos en el ecosistema, debido, a que brindan servicios económicos como fuentes de ingresos a las personas del sector reflejándose en productos como los chocolates, trabajo a la comunidad local y los ya mencionados servicios ambientales. Con respecto a la protección del suelo se observó que la mayoría del tiempo está cubierto por hojas y por procesos metabólicos de los microorganismos, condiciones climáticas y edafoclimáticas se convierten en nutrientes ofreciendo una fertilización orgánica aprovechada por el mismo cultivo.

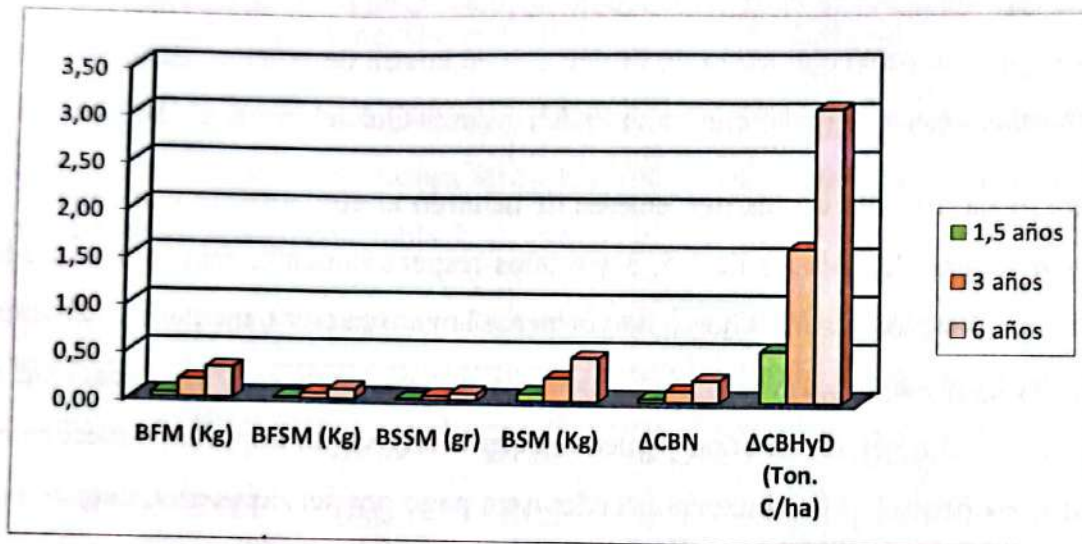
---

<sup>21</sup> Castillo (2006). Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con café arábigo y cacao, en dos zonas agroecológicas del litoral ecuatoriano. Recuperado de: <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/15.-Fijacion-y-Almacenamiento.pdf> [citado en 10 de diciembre de 2017]

<sup>22</sup> Salgado et al (2009). Cuantificación, descomposición y contenido nutrimental de hojarasca en dos sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao* L.). recuperado de: [http://www.dgip.unach.mx/images/pdf-REVISTA-QUEHACERCIENTIFICO/QUEHACER-CIENTIFICO-2009-ener-jun/cuantificacion\\_descomposicion\\_contenido.pdf](http://www.dgip.unach.mx/images/pdf-REVISTA-QUEHACERCIENTIFICO/QUEHACER-CIENTIFICO-2009-ener-jun/cuantificacion_descomposicion_contenido.pdf) [citado en 10 de diciembre de 2017]

Respecto al contenido de materia seca, contenido de C y contenido de C por hectárea se realizó el análisis estadístico resultando  $P < 0.05$  en los tres componentes y gráficamente se muestran a continuación.

Grafica 9. Estimación de C en hojarasca y detritos en los tres componentes.



Fuente: presente investigación 2017.

En la gráfica 9 se observa los contenidos desde la materia fresca de la muestra hasta el contenido de C por hectárea para cada componente, siendo el de 1.5 años el de menor contenido y el de mayor cantidad el de 6 años de edad de plantación con 0.55 y 3.06 Ton.C/ha respectivamente.

Apoyándose en lo expuesto por Barragán (2008)<sup>23</sup> quien menciona que los factores ambientales como la lluvia y la sequía influyen en la caída de hojarasca, en el cual la estación seca coincide con la mayor caída de hojarasca; en este sentido se manifiesta que la estación de muestreo correspondió a un periodo seco y por tanto estos datos se encuentran en los rangos reportados por Concha et al (2007) en Perú al encontrar entre 29-45 t C ha, Cotta et al (2006) en Brasil reporta valores de 106.80 t C ha en biomasa, Aristizabal y Guerra (2002) determinan que el cacao fijan 3.3 t C ha y Albrecht y Kandji

<sup>23</sup> Barragán (2009). Aporte y descomposición de biomasa aérea en asociaciones agroforestales y su influencia en los cultivos de cacao y café. Recuperado de: <<https://books.google.com.co/books>>

(2003) reporta para Sudamérica 39-102 t C ha en sistemas agroforestales, citados por Poveda *et al* (2013)<sup>24</sup>.

Al respecto se puede decir que la hojarasca cumple una función importante dentro del cultivo de cacao; pues este da frescura y humedad al suelo generando mayor rendimiento, según lo expuesto por El Tiempo, (1996)

El golpe de la lluvia en el suelo limpio desprende partículas finas que tapan los poros de la tierra, sus nutrientes minerales se pierden 100 veces por erosión que por el mismo consumo de las plantas y la hojarasca en cada uno de los surcos de las plantaciones permite a las bacterias fijar oxígeno y nutrientes en el suelo<sup>25</sup>.

Lo cual indica que el cultivo de estudio se caracterizó de tipo limpio y finalmente la hojarasca nos permite una recuperación al suelo.

Este factor es considerado en la vida de los agricultores uno de los más importantes empleado como abono orgánico; esencial en la existencia de las plantaciones, con ello se retorna la productividad y los bioelementos necesarios para mantenerse junto al carbono como depósito en el suelo.

Para Oelbermann y Gordon, 2000:

La hojarasca es una medida de la producción primaria neta del ecosistema y está fuertemente correlacionada con el incremento de la biomasa, la densidad de árboles y la apertura del dosel; sin embargo, es afectada por variables ambientales como precipitación, temperatura, elevación, fertilidad de los suelos y la evapotranspiración potencial<sup>26</sup>.

Para este caso las plantaciones estudias presentan gran cantidad de perdida en sus hojas en tiempos de invierno y su tallo engrosa a medida del paso del tiempo; esto debido a las

<sup>24</sup> Poveda et al, (2013). Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de cacao en Waslala, Nicaragua. Recuperado de: <https://www.google.com.co/url> [citado en 10 de diciembre de 2017]

<sup>25</sup> Anónimo (1996). La Hojarasca genera Vida. Recuperado de: <

Figura 9. Registro toma de C fijado en hojarasca de cacao.

Nuevo León, México. Recuperado de: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-27682013000100003](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-27682013000100003)

continuas actividades de poda que se les realizan para una mejora y eliminación de enfermedades y partes muertas e innecesarias de la planta. Del mismo modo, varía ampliamente entre los ecosistemas ya sea en términos de calidad o cantidad



Fuente: presente investigación 2017.

Analisis estadístico de la estimación de carbono en el suelo.

La estimación de carbono en el suelo se realizó mediante la siguiente ecuación

$C = a * \delta(t/m-3) * Pm * fc$  (1), los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 8. Estimación de C en el suelo para los tres componentes.

CONTENIDO DE CARBONO EN EL SUELO				
COMPONENTE	%C	D.A Ton/m <sup>3</sup>	ΔCS	ΔCS(Ton.C/ha)
1.5 años	2.87	0.58	49.938	24.969
3 años	2.98	0.71	63.474	31.737
6 años	1.61	0.56	27.048	13.524

**Dónde: %C:** Porcentaje de carbono de la muestras (resultado análisis laboratorio),  
**D.A Ton/m<sup>3</sup>:** Densidad aparente (m<sup>3</sup>), **ΔCS:** contenido de carbono en el suelo,  
**ΔCS(Ton.C/ha):** contenido de carbono en el suelo tonelada hectárea.

Fuente: presente investigación 2017

El estadístico  $R^2$  indica que el modelo ajustado explica 100% de la variabilidad en  $\Delta CS$  (Ton.C/ha). El coeficiente de correlación es igual a 1.0, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. Los datos obtenidos en la tabla 8, se obtuvieron mediante un muestreo compuesto de suelo tomado a una profundidad de 30 cm como se observa en la figura 10.

Figura 10. Muestreo de suelo.

Fuente: presente investigación 2017.

Con base en el carbono orgánico y la densidad aparente del suelo y la profundidad del muestreo se estimó el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo, mediante ecuaciones alométricas.



El  $\Delta CS$  se encontró a unas concentraciones que variaron entre 63.47 a 27.04, siendo la hectárea de 3 años la de mayor acumulación de carbono en el suelo. La densidad aparente baja en las tres (3) hectáreas de cacao menores a 0.8

ton/m<sup>3</sup> trae grandes ventajas para la aireación, el movimiento del agua y el flujo de

nutrientes, la densidad aparente está incluida como un indicador de la calidad del suelo, por su importancia en la penetración radicular y porosidad.

Figura 11. Muestreo de suelo compuesto.



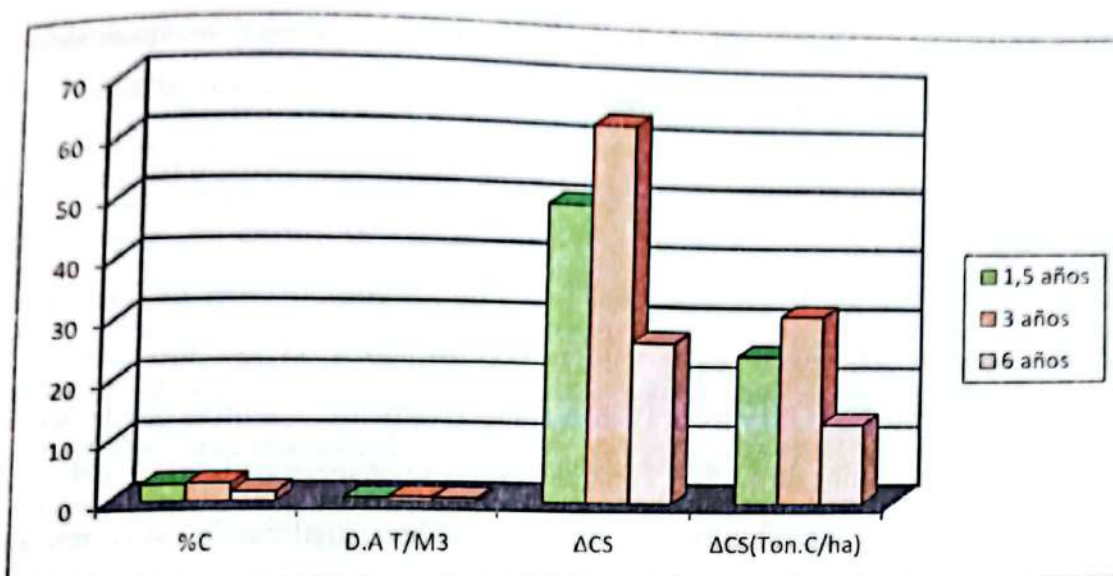
Fuente: presente investigación 2017.

El carbono orgánico en el suelo es un indicador indirecto de la calidad de los suelos, principalmente desde el punto de vista físico y biológico, ya que está íntimamente relacionado con la materia orgánica. En el campo del servicio ambiental de la fijación de carbono atmosférico, un cambio positivo en la carbono orgánico del suelo indica secuestro, mientras que una reducción de esta variable causa una emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, tal como ha sido reportado en otros estudios Chen et al. 2006; Andrade et al. 2008; Polyakov y Lal 2008; Guntiñas et al. 2009, (citado en Alvarado, Andrade y segura 2013)<sup>27</sup>, de acuerdo con lo anterior la hectárea de tres (3) años fue la de mayor secuestro de carbono con un valor de 63.47, mientras que la de 6 años registro un valor de 27.04 como se muestra en la tabla 8, indicando una posible emisión ya que esta variable se redujo notablemente con respecto a las otras.

Grafica 10. Determinación de C en el suelo para los tres componentes.

---

<sup>27</sup> alvarado, andrade, segura (2013). Almacenamiento de carbono orgánico en suelos en sistemas de producción de café (*coffea arabica* l.) En el municipio del líbano, tolima, colombia  
Recuperado de: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/colfor/article/viewfile/3919/5886>



Fuente: presente investigación 2017.

En la gráfica anterior se muestra la determinación de carbono en los tres componentes, como también los resultados de %C y Densidad aparente.

El carbono orgánico del suelo (COS) es un componente importante del ciclo global del C, ocupando un 69.8 % del C orgánico de la biosfera (FAO, 2001). El suelo puede actuar como fuente o reservorio de C dependiendo de su uso y manejo, Lal et al., 1990, Lal, 1997(citado en Martínez, Fuentes y Acevedo, 2008)<sup>28</sup>.

El suelo es uno de los más grandes sumideros de carbono, Los suelos del mundo sostienen más carbono orgánico que el almacenado por la vegetación y la atmósfera en forma de CO<sub>2</sub>. Un estudio de la cantidad de carbono en sistemas agroforestales que incluyen al cacao, muestra valores de 19 t.C ha y 47 t.C ha en el primer metro de profundidad del suelo (Lapeyre et al., 2004). Como se puede evidenciar en la gráfica 9, los resultados obtenidos en la presente investigación, tomados a una profundidad de 30 cm en el suelo establecen valores dentro del rango obtenido en estudios anteriores por lapeyre, siendo así unos resultados óptimos para el estudio, incluso se puede observar que el SAF de cacao en la hectárea de 3 años obtuvo un valor de 63.47 carbono en el suelo, siendo este un valor

<sup>28</sup> Martínez, Fuentes, Acevedo (2008). CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES DEL SUELO, Recuperado de: <http://www.scielo.cl/pdf/rcsuelo/v8n1/art06.pdf>

significativamente más alto que el obtenido en los estudios anteriores, comprobando así que el suelo es uno de los mayores sumideros de carbono.

Con respecto al almacenamiento de carbono en Ton/ha, según Somarriba y Beer (1997) en plantaciones bajo cacao *Theobroma cacao* L. y bajo cacao - *Erythrina* sp., se puede fijar entre 10 y 22 tnC ha<sup>-1</sup>, a los 10 años de edad<sup>29</sup>, dos de los componentes evaluados en la presente investigación sobrepasan estos valores con 24.969 y 31.737 ton C/ha en las plantaciones de año y medio (1/5) y tres (3) años respectivamente, mientras que la hectárea de seis (6) años tiene un valor de 13.524 Ton C/ha como se observa en la gráfica 9, el cual se encuentra dentro de lo determinado por Somarriba y Beer, analizando estos resultados se pudo determinar que el SAF de cacao (teobroma cacao) ubicado en la finca Campo Alegre, Vereda Rumiayaco de Mocoa-Putumayo tiene un alto contenido de carbono en Ton/ha en el suelo. En la siguiente imagen se presenta el muestreo de suelos realizado.

Figura 12. Toma de muestra de suelo



Fuente: presente investigación 2017.

Gamarra (2001) encontró 4.99 t C/ha de contenido de carbono almacenado en hojarasca y 37.39 contenido de carbono en suelo COS en un bosque de *Eucalyptus globulus* Labill, en Junin, de lo anterior podemos realizar un comparativo del carbono fijado por hojarasca y el fijado por el suelo, en el cual se da como resultado que el suelo fija una mayor cantidad de carbono, con respecto a los resultados de la presente propuesta el carbono fijado por el

<sup>29</sup> Chavez y Beer, Sistemas agroforestales con cacao en Costa Rica y Panamá. Op. cit.,p.10. Recuperado de: <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr:8080/handle/11554/6816>

suelo en el SAF de cacao en el componente de tres (3) años es de 31.73 ton/ha, un valor muy similar al fijado por un bosque de *Eucalyptus globulus* Labill, pudiendo encontrar una relación en cuanto a la fijación de carbono se estos dos sistemas.

De acuerdo a estudios de Gockowski y Sonwa (2011) sobre el carbono almacenado en suelo, registrado a una profundidad de 30 cm en Camerún fue de 43 t C ha<sup>-1</sup>, menor a las 49 t C ha<sup>-1</sup> de SAF cacao de Telemanca, Cerda et al. (2013), con base en lo expuesto anteriormente por Gockowski y cerda, los resultados de la presente investigación están por debajo siendo el más alto 37.73 ton/ha, lo cual puede estar relacionado con la edad de los componentes, ya que en este no se especifica la edad para realizar un análisis más exacto.

Análisis estadístico de la estimación del carbono en el sistema agroforestal.

El análisis estadístico se diferenció mediante dos secuencias, primero para  $\Delta$ CBA,  $\Delta$ CBHyD y  $\Delta$ CS arrojando como resultado  $P < 0.05$  y la prueba honestamente significativa determino que la variación entre los grupos corresponde al C almacenado o capturado en el suelo. Segundo para los componentes  $\Delta$ CBR,  $\Delta$ CBA y  $\Delta$ CBHyD lo cual se determinó que  $P > 0.05$  indicando que no existe diferencia entre las variables de estos grupos. Los valores para cada componente se presentan en la tabla 9 de los cuales se clasifican así: 28.239, 40.627 y 25.064 Ton/Ha para los cultivos de edades de 1.5, 3 y 6 años respectivamente.

Tabla 9. Estimación del Carbono en el Sistema Agroforestal.

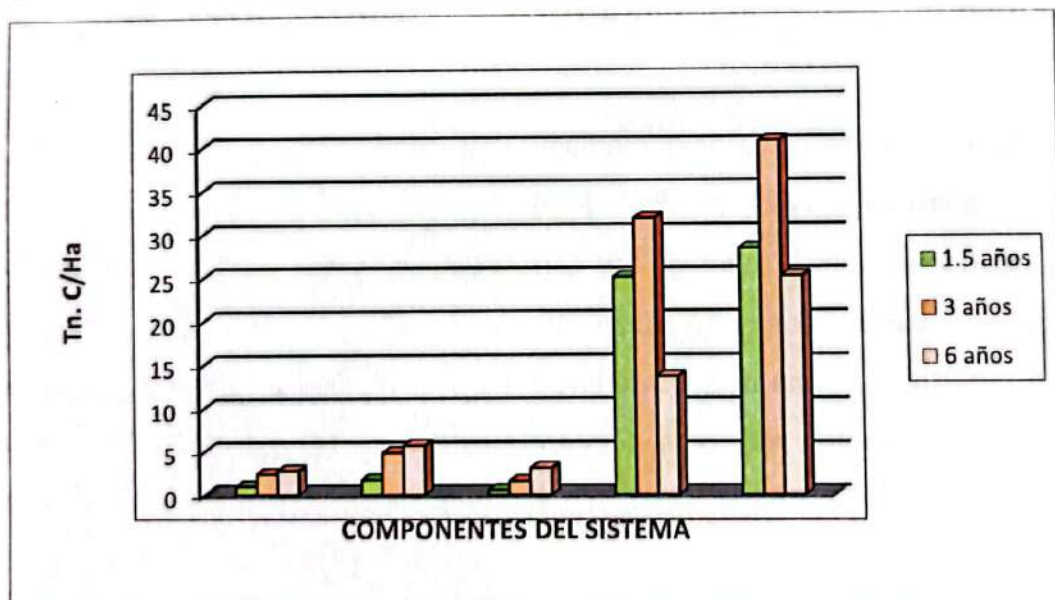
COMPONENTE	$\Delta$ CBR	$\Delta$ CBA	$\Delta$ CBHyD	$\Delta$ CS	C Sistema
1.5 años	0.98	1.74	0.55	24.969	28.239

3 años	2.43	4.85	1.61	31.737	40.627
6 años	2.8	5.68	3.06	13.524	25.064
<b>TOTALES:</b>	<b>6.21</b>	<b>12.27</b>	<b>5.22</b>	<b>70.73</b>	<b>93.93</b>

Dónde:  $\Delta$ CBR: Contenido de Carbono en la Biomasa Radicular,  $\Delta$ CBA: Contenido de Carbono en la Biomasa Arbórea,  $\Delta$ CBHyD: Contenido de Carbono en la Biomasa de hojarasca y detritos,  $\Delta$ CS: Contenido de Carbono en el Suelo, C Sistema: Carbono del Sistema Agroforestal.

Fuente: presente investigación 2017.

Grafica 11. Estimación del Carbono en cada uno de los componentes ( $\Delta$ CBR, $\Delta$ CBA, $\Delta$ CBHyD, $\Delta$ CS) del sistema.



Fuente: presente investigación 2017.

### 3. Conclusiones

El SAF de cacao (*teobroma cacao*) estudiado obtuvo unos resultados óptimos en los tres componentes con tan solo 6.3 y 1.5 años de sembrados, ya que acumularon un porcentaje de carbono muy similar a los expuesto por diversos autores sobre otros SAF de cacao.

En los análisis estadísticos realizados con los datos obtenidos del SAF de cacao (*teobroma cacao L*) se determinó una variación significativa entre los componentes  $\Delta CBA$ ,  $\Delta CBHyD$  y  $\Delta CS$ , correspondiente al carbono almacenado en el suelo, el cual es uno de los mas grandes sumideros de carbono.

Los resultados obtenidos en este SAF, demuestran que el cacao tiene una gran capacidad en cuanto al almacenamiento de carbono, por lo cual puede ser un importante sumidero que permita a los agricultores acceder a un pago por servicios ambientales.

#### 4. Recomendaciones

Fortalecer conocimientos en temas de captura y almacenamiento de carbono en los diversos ecosistemas que se presentan en la región, debido al gran aporte que realizan estos ecosistemas como sumideros de carbono en la disminución del cambio climático.

Continuar realizando estudios periódicamente sobre este mismo SAF de cacao (*teobroma cacao L*), para así observar los continuos cambios de estas plantaciones debido a que con el paso de los años las plantaciones aumentan o disminuyen su capacidad de captura de carbono.

Proyectar una estrategia productiva que permita a los productores de la región acceder a un pago por la conservación y establecimiento de SAF.

## Bibliografía

1. Alvarado, Andrade y Segura (2013). Almacenamiento de carbono orgánico en suelos en sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) En el municipio del Líbano, Tolima, Colombia. *Colombia Forestal*, 16(1), 20-31, Recuperado de:  
<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/colfor/article/viewFile/3919/5886>
2. Andrade, Figueroa y Silva (2013). Almacenamiento de carbono en cacaotales (*Theobroma cacao*) (*Theobroma cacao* L) en armero-guayabal (tolima, colombia). *scientia agroalimentaria*, (1), Recuperado de:  
<http://repository.ut.edu.co/bitstream/001/1318/1/RIUT-LI-spa-2013-Almacenamiento%20de%20carbono%20en%20cacaotales%20%28Theobroma%20cacao%29%20en%20Armero-Guayabal%20%28Tolima%2C%20Colombia%29.pdf>
3. Anónimo (1996). La Hojarasca genera Vida. Recuperado de:  
<http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-570813>
4. Anonimo (2017). El Carbono para el desarrollo y sustento de la vida, Recuperado de: <http://.blogspot.com.co/p/ciclo-del-carbono.html>
5. Asociación de Productores de Cacao del Piedemonte Amazónico (APROCAPA, 2017).
6. Barragan (2009). Aporte y descomposición de biomasa aérea en asociaciones agroforestales y su influencia en los cultivos de cacao y café, recuperado de:  
<https://books.google.com.co/books>
7. Barrios et al (2014). Relación biomasa de raíz/biomasa total de soja (*glycine max*) en dos sistemas de labranza, recuperado de:  
<http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v32n3/2395-8030-tl-32-03-00221.pdf>
8. Botero (2006). Los sistemas silvopastoriles como sumideros de CO<sub>2</sub>. Biblioteca digital, (1), Recuperado de

[http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6693/1/20061127115639\\_Sistemas%20silvopastoriles%20sumidero%20CO2.pdf](http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6693/1/20061127115639_Sistemas%20silvopastoriles%20sumidero%20CO2.pdf)

9. Bravo, Muñoz, Muñoz y Pesillo (2013). Estimación de la captura de carbono en el suelo y materia orgánica muerta, en el sistema agroforestal con la especie capiron (*calycophyllum spruceanum*), en la vereda la primavera, municipio de Puerto Guzman, Putumayo. (tesis de pregrado). Instituto Tecnológico del Putumayo, Mocoa
10. Castillo (2006). Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con café arábigo y cacao, en dos zonas agroecológicas del litoral ecuatoriano, recuperado de: <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/15.-Fijacion-y-Almacenamiento.pdf> [citado en 10 de diciembre de 2017]
11. Chavez y Beer (1999), Sistemas agroforestales con cacao en Costa Rica y Panamá. Op. cit., p.10. Recuperado de: <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr:8080/handle/11554/6816>
12. Coronado, (8-mayo-2013). Recuperado de: <http://putumayomocoajl.blogspot.com/2013/05/putumayo-mocoa.html>
13. El espectador (2017). Los pobres son los más castigados por el cambio climático, Recuperado de: <http://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/encienden-la-primera-planta-comercial-que-captura-c02-articulo-696783>
14. Giraldo, Zapata y Montoya (2008). Captura y flujo de carbono en un sistema silvopastoril de la zona Andina Colombiana. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal, (16) Recuperado de: <http://www.bioline.org.br/pdf?la08033>
15. Greenpeace (2009). Futuro negro para los páramos, recuperado de: [http://www.greenpeace.org/colombia/Global/colombia/informes/informe\\_todo3.pdf](http://www.greenpeace.org/colombia/Global/colombia/informes/informe_todo3.pdf)
16. Infojardin (2002), árbol de cacao, cacaotero, recuperado de: [articulos.infojardin.com/frutales/fichas/cacao-cacaotero-theobroma-cacao.htm](http://articulos.infojardin.com/frutales/fichas/cacao-cacaotero-theobroma-cacao.htm)

17. Jadán et al (2012). Influencia del uso de la tierra sobre almacenamiento de carbono en sistemas productivos y bosque primario en Napo, Reserva de Biosfera Sumaco, Ecuador. Recuperado de: <https://www.uea.edu.ec/cipca/images/revista-cientifica-articulo-2-vol-1-N-3BTORRES.pdf>> [citado en 20 de diciembre de 2017]
18. Lopez et al, (2013). Producción de hojarasca y retorno potencial de nutrientes en tres sitios del estado de Nuevo León, México, recuperado de: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-27682013000100003](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-27682013000100003)
19. Martinez, Fuentes, Acevedo (2008). carbono orgánico y propiedades del suelo, Recuperado de: <http://www.scielo.cl/pdf/rcsuelo/v8n1/art06.pdf>
20. Mota, Alcaraz, Iglesias, Martínez y Carvajal (2005). Investigación sobre la absorción de co2 por los cultivos más representativos, Recuperado de: [http://www.lescco2.es/pdfs/noticias/ponencia\\_cisc\\_espanol.pdf](http://www.lescco2.es/pdfs/noticias/ponencia_cisc_espanol.pdf)
21. Poveda et al (2013). Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de cacao en Waslala, Nicaragua, recuperado de: <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr>
22. ProColombia (2016). Lo que debe saber para exportar cacao fino de aroma. Noticias ProColombia; (1), Recuperado de: <https://www.google.com.co/url?>
23. Rüginitz ,Chacón y Porro(2009).Guía para la determinación de carbono en pequeñaspropiedades rurales1. Ed. Lima, Perú. Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) pag 9. Recuperadode:[http://www.katoombagroup.org/documents/tools/ICRAF\\_GuiaDetermiacionCarbono\\_esp.pdf](http://www.katoombagroup.org/documents/tools/ICRAF_GuiaDetermiacionCarbono_esp.pdf)
24. Salgado et al (2009). Cuantificación, descomposición y contenido nutrimental de hojarasca en dos sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao* L.), recuperado de: [http://www.dgip.unach.mx/images/pdf-revista-quehacercientifico/quehacer-cientifico-2009-enerjun/cuantificacion\\_descomposicion\\_contenido.pdf](http://www.dgip.unach.mx/images/pdf-revista-quehacercientifico/quehacer-cientifico-2009-enerjun/cuantificacion_descomposicion_contenido.pdf)

25. Silva y Návar (2010). factores de expansión de biomasa en comunidades forestales templadas del norte de durango, méxico. Scielo, (1), Recuperado de:  
<http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v1n1/v1n1a7.pdf>
26. Unimedios (2012). Medioambiente, Recuperado de:  
<http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/cultivos-de-cacao-ideales-para-reducir-co2-en-el-ambiente.html>> [citado el 11 de diciembre de 2017]

25. Silva y Návar (2010). factores de expansión de biomasa en comunidades forestales templadas del norte de durango, méxico. Scielo, (1), Recuperado de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v1n1/v1n1a7.pdf>
26. Unimedios (2012). Medioambiente, Recuperado de: <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/cultivos-de-cacao-ideales-para-reducir-co2-en-el-ambiente.html>> [citado el 11 de diciembre de 2017]

## Anexos

### Anexo 1. Inventario de CD y altura hectárea año y medio

HECTAREA AÑO Y MEDIO														
#ARBOL	ALTURA	CD	#ARBOL	ALTURA	CD	#ARBOL	ALTURA	CD	#ARBOL	ALTURA	CD	#ARBOL	ALTURA	CD
1	2,01	6,4	33	2,81	6,7	65	2,87	5,8	97	2,19	5,3	129	2,25	5,2
2	1,71	4	34	2,19	4,1	66	2,03	4,7	98	1,58	3,9	130	2,03	4,5
3	2,23	4,7	35	2,89	4,5	67	2,37	5,1	99	2,47	5	131	2,29	4,1
4	2,1	4	36	2,85	5,4	68	2,55	8	100	2,48	4,8	132	1,8	3,5
5	2,52	4,1	37	2,25	7	69	1,59	3,7	101	2,15	5,4	133	2,24	4,6
6	2,71	6,2	38	2,15	4,5	70	2,17	6	102	2,01	5,3	134	2,43	5
7	2,18	7	39	2,06	4	71	2,67	4,4	103	2,57	6	135	2,56	5,8
8	2,09	4,4	40	1,9	5,1	72	2,19	3,5	104	2,87	5,6	136	2,73	4,7
9	1,94	4,8	41	2,32	4,7	73	2,75	3,9	105	2,79	3,9	137	2,08	3,8
10	1,8	4,3	42	2,56	6,7	74	2,46	4,6	106	2,29	4	138	2,59	4,9
11	2,05	6,4	43	1,63	4,1	75	2,54	5	107	2,68	4,5	139	1,99	3,7
12	2,09	6	44	1,82	6,8	76	2,49	5,4	108	2,34	3,8	140	2,48	4
13	1,55	5,1	45	2,22	6,3	77	2,36	5,6	109	2,52	4,3	141	2,31	4,8
14	2,44	4,6	46	2,2	5,9	78	2,41	6	110	2,63	4,6	142	2,07	4,3
15	2,38	5,2	47	1,86	4,4	79	2,23	3,9	111	2,15	4,1	143	2,17	4,8
16	1,94	5,7	48	2,17	7	80	2,3	4,5	112	2,8	4,7	144	2,41	5
17	1,54	6	49	1,9	6,1	81	1,83	5,3	113	1,61	3,4	145	2,29	3,8
18	2,3	5	50	2,16	6,5	82	2,85	4,8	114	2,64	5,3	146	3,19	4,5
19	1,66	6,4	51	2,17	6,4	83	2,32	5	115	2,77	5,7	147	2,99	6
20	2,15	5	52	2,66	6,8	84	1,66	4,5	116	1,85	4,7	148	2,15	4,8
21	2,02	4,5	53	2,47	5,7	85	1,94	3,7	117	1,78	3,6			
22	1,98	4,5	54	2,72	5,3	86	2,59	5,1	118	2,17	4,8			
23	1,58	4,7	55	1,58	5,8	87	2,41	5,7	119	1,97	4,1			
24	1,56	4,5	56	2,09	5,9	88	1,94	5	120	2,05	5			
25	2,43	4,8	57	2,31	6	89	1,71	4,2	121	3,1	6,4			
26	2,38	5	58	3,15	5,1	90	2,32	5,2	122	2,04	5,7			
27	2,68	5,1	59	2,15	5,4	91	2,94	5,7	123	2,49	5,9			
28	2,77	5	60	2,65	5,7	92	2,34	5,3	124	1,68	4			
29	2,65	5,6	61	2,55	5,6	93	2,67	4,8	125	2,11	4,9			
30	2,21	5,4	62	2,68	6	94	2,23	3,8	126	1,87	3,6			
31	2,45	5,6	63	2,58	6,2	95	2,51	4,5	127	2,73	5,6			
32	1,89	5,3	64	2,72	5,4	96	2,53	5,4	128	2,58	6			

Anexo 2. Inventario de CD y altura hectárea 3 años.




HECTAREA 3 AÑOS														
#ARBOL	ALTURA	CD	#ARBOL	ALTURA	CD	#ARBOL	ALTURA	CD	#ARBOL	ALTURA	CD	#ARBOL	ALTURA	CD
1	3,2	7,15	33	3,97	5,9	65	3,3	6,7	97	2,74	5,3	129	3,2	8
2	3,7	8,4	34	3,92	5,2	66	3,27	5,9	98	3,34	5,1	130	2,8	9
3	3,5	6,9	35	3,7	10,1	67	4,7	7,3	99	3,1	5,2	131	2,95	5
4	3,22	9	36	2,02	9,7	68	3,76	9,7	100	3,9	7,3	132	3,2	8
5	3,8	10,9	37	3,13	7,9	69	2,1	10,4	101	3,96	7,8	133	3,39	
6	3,1	5,85	38	3,2	5,2	70	3,08	7,3	102	3,7	5	134	2,8	6
7	3,65	8,4	39	3,3	7	71	2,88	9,7	103	3,65	6,6	135	3,2	8
8	3	9,7	40	2,23	7,3	72	2,93	8,2	104	3,2	6,7	136	3,39	8
9	2,9	9,8	41	3,22	8,4	73	3,3	10,4	105	3,6	9,6	137	2,8	8
10	2,86	7,8	42	2,3	8,2	74	3,3	10,3	106	2,97	6,7	138	3,2	9
11	4,1	11,3	43	3,4	8,1	75	3,5	10,1	107	2,5	6,8	139	3,57	7
12	3,02	8,24	44	3,33	9,6	76	3,3	7,95	108	2,9	5,3	140	3,17	8
13	3,18	7,55	45	3,02	10,11	77	2,7	10,9	109	3,3	6,6	141	3,1	10
14	2,8	6,5	46	3,87	8,25	78	3,45	10,5	110	3,8	6,8	142	3,4	10
15	3,02	10,4	47	2,25	8,8	79	3,1	10,4	111	2,91	5,3	143	3,41	9
16	3,33	9,7	48	3,37	9,6	80	3,7	12,5	112	2,9	6,6	144	3,27	8
17	3,03	7,3	49	3,3	7,65	81	3,2	8,2	113	2,93	6,8	145	3,1	7
18	3,56	7,7	50	2,8	9,6	82	3,35	7,3	114	4	6,7	146	3,4	10
19	3,21	6,5	51	3,47	10,1	83	2,8	10,9	115	3,1	6,8	147	3,27	10
20	2,33	5,1	52	3,23	9,8	84	3,47	10,1	116	4,1	7,65	148	3,04	9
21	2,83	5,8	53	3,2	7,3	85	3,14	8,3	117	3,3	6,3			
22	3,13	10,1	54	3,03	9,5	86	3,54	9,8	118	3,81	8,5			
23	3,94	10,5	55	3,3	10,4	87	3,3	9,7	119	2,98	7,3			
24	2,75	7,1	56	2,31	10,12	88	3,01	9,5	120	3,9	6,6			
25	3,2	6,56	57	3,12	10,3	89	3,56	6	121	2,8	5,3			
26	3,18	8,3	58	3,07	8,3	90	3,27	7,7	122	3,3	8,4			
27	3,7	9,7	59	2,87	7,3	91	2,97	5,9	123	3,2	6,5			
28	3,5	7	60	2,95	9,6	92	3,2	6,5	124	3,33	8,2			
29	3,6	8,1	61	2,73	10	93	3,2	8,3	125	2,9	8,3			
30	3,54	9,8	62	3,44	8,3	94	2,34	5,2	126	2,95	7,43			
31	4,35	8	63	3,5	6,6	95	2,6	7,9	127	2,2	10,9			
32	4,57	6,66	64	3,1	8,2	96	2,7	4,9	128	2,97	8,85			

Anexo 3. Inventario de CD y altura hectárea 6 años.

HECTAREA 6 AÑOS													
#ARBOL	ALTURA	CD	#ARBOL	ALTURA	CD	#ARBOL	ALTURA	CD	#ARBOL	ALTURA	CD	#ARBOL	ALTURA
1	3,5	6,45	33	3,37	10,4	65	3,21	6,7	97	3,67	10	129	3,29
2	3,12	8,4	34	2,94	4,4	66	3,63	7,15	98	2,8	4,7	130	3,75
3	3,33	9,9	35	3,45	5,23	67	3,94	6,7	99	3,4	9	131	4,1
4	3,5	10,4	36	3,3	9,5	68	3,59	6,95	100	3	9	132	4,05
5	3,7	8,3	37	3,58	10,5	69	3,3	8,9	101	2,92	8	133	3,3
6	3,4	6,65	38	2,86	9	70	4,1	9,8	102	3,5	10,1	134	3,6
7	2,8	5,2	39	3,14	3,82	71	3,26	10,4	103	3,4	8,1	135	3,47
8	4,5	9,9	40	3,24	5,6	72	3,62	9,6	104	3,1	7,3	136	3,4
9	3,5	6,1	41	3,87	6	73	3,1	9,7	105	3,51	9,4	137	3,4
10	3,9	6,4	42	3,22	6,7	74	3,2	10,5	106	3,57	7,3	138	3,53
11	3,9	5,76	43	4,25	8,5	75	3,35	9,7	107	3,37	10,4	139	3,7
12	2,97	4,7	44	3,68	10,4	76	3,6	5,73	108	3,17	8,1	140	3,1
13	4,25	9,6	45	3,75	7,8	77	3,43	8	109	3,51	9,8	141	3,48
14	4	10,5	46	3,1	6,15	78	3,5	7,05	110	2,94	7	142	3,25
15	3,4	9,6	47	3,7	7,25	79	3,82	8	111	3,66	5,6	143	3,64
16	3,6	5,9	48	3,45	5,7	80	3,51	7,5	112	3,7	9	144	4,4
17	4,77	8,3	49	3,84	10,4	81	3,47	9	113	3,8	5,06	145	3,37
18	3,6	8,3	50	3,71	10,5	82	3,55	10,3	114	3,2	6,5	146	3,34
19	4,2	8,3	51	3,8	7,55	83	2,5	7,05	115	3,18	6,43	147	4,01
20	3,4	5,15	52	3,38	8,3	84	3,28	8,3	116	3	7	148	3,65
21	3,15	6,5	53	3,3	8,1	85	3,33	10,4	117	3,05	6,35		
22	4,18	5,1	54	3,47	6,7	86	3,47	10	118	2,8	9,6		
23	3,8	8,1	55	3,43	6,95	87	3,29	8,3	119	3,45	6,65		
24	4,2	7,5	56	4,48	7,1	88	2,8	9,4	120	3,49	6,3		
25	3,2	6,95	57	3,44	3	89	3,65	5,9	121	2,85	10		
26	3,25	8	58	3,26	7,3	90	3,21	7,85	122	3,6	5,73		
27	3,38	6,5	59	3,4	5,2	91	3,47	6,86	123	3,57	8,43		
28	2,88	4,43	60	3,42	6,9	92	3,64	6,83	124	3,08	9,7		
29	3,85	5,95	61	3	8,3	93	3,28	6,5	125	2,94	7,05		
30	3,4	6,7	62	3,1	5,2	94	3,82	6,3	126	3,4	8,3		
31	3,5	6,2	63	4,25	8,2	95	2,39	5,05	127	3,77	9,7		
32	3,03	5,63	64	3,6	8	96	2,6	5	128	3,64	6,95		

# Anexo 4. Resultados laboratorio carbono orgánico.




SUPLEMENTO AL INFORME N° 3809-S17 (27406-27408) Karen Ariza 2017-11-28

	<b>VINCULACIÓN DE CONOCIMIENTO Y TECNOLOGÍA</b>		Código: VC_F_116
			Versión: 2
	Reporte de Resultados Laboratorio de Servicios para varias Muestras		Fecha de vigencia: (01-02-2016)
<b>LABORATORIO DE QUÍMICA DE SUELOS, AGUAS Y PLANTAS</b>			
<b>1. Información del cliente</b> Nombre y Apellido: KAREN ARIZA Cédula o NIT: 1123317106 Dirección: R. LUIS CARLOS GALAN Depto: PUTUMAYO Municipio: MICOA Tel. fijo/Celular: 3204207931 Tipo de análisis: Carbono Orgánico Oxidable		   Número de solicitud <b>3809</b>	
<b>2. Información de la muestra</b> Finca: CAMPO ALEGRE Motriz: SUELO Cultivo: CACAO Altura: 1600 Estado: ESTABLECIDO  Fecha de recepción: 2017-11-17 Fecha de reporte: 2017-11-28		Javier Ricardo Jiménez (7582) Líder Unidad de Laboratorio de Suelos	
<b>DETERMINACIÓN ANALÍTICA</b>			
CODIGO LABORATORIO	UNIDADES	Carbono Orgánico (CO) Oxidable %	
	METODOS	WALKEY & BLACK	
IDENTIFICACION		VALORES	
S17-27406	1 HECTAREA	1,61	
S17-27407	2 HECTAREA	2,98	
S17-27408	3 HECTAREA	2,87	
<b>OBSERVACIONES:</b> Los resultados son válidos únicamente para la muestra en referencia. Este documento ha sido producido electrónicamente y es válido sin la firma. Este documento no puede ser reproducido total ni parcialmente, sin la autorización formal de CORPOICA. CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA, NIT: 800194600-3 CENTRO DE INVESTIGACIÓN TIBAITATA KILOMETRO 14 VÍA MOSQUERA (CUNDINAMARCA) TELÉFONOS: 4217300, extensión 1414 E-MAIL: yparax@corpoca.org.co			

FIN DEL INFORME

# Anexo 5. Análisis densidad aparente hectárea año y medio

INFORME N° 249- FS17 (20842-20844) Karen Ariza 2017-12-20

	VINCULACIÓN DE CONOCIMIENTO Y TECNOLOGÍA	Código: VC F 115										
	Reporte de Resultados Laboratorios de Servicios una Muestra	Versión: 2										
		Fecha de vigencia: (01-02-2016)										
<b>LABORATORIO DE SUELOS, AGUAS Y PLANTAS</b>												
<b>1. Información del cliente</b> Nombre y Apellido: KAREN ARIZA Cédula o NIT: 1123317106 Dirección: BARRIO LUIS CARLOS GALAN Depto: PUTUMAYO Municipio: MOCOA Tel. fijo/Celular: 3204207931 Tipo de análisis: Densidad aparente,		<table border="1"> <tr> <th># DE SOLICITUD</th> <th>CODIGO DE LABORATORIO</th> </tr> <tr> <td>249</td> <td>FS17-20844</td> </tr> </table>	# DE SOLICITUD	CODIGO DE LABORATORIO	249	FS17-20844						
# DE SOLICITUD	CODIGO DE LABORATORIO											
249	FS17-20844											
<b>2. Información de la muestra</b> Identificación: 3 HECTAREA Matriz: SUELO Vereda: RUMIYACO Finca: CAMPO ALEGRE Cultivo: CACAO Topografía: PLANO  Fecha de recepción: 2017-12-11 Fecha de reporte: 2017-12-20		   Jamer Ricardo Jiménez. (E7882) Líder Unidad de Laboratorio de Suelos										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>DETERMINACIÓN ANALÍTICA</th> <th>UNIDAD</th> <th>MÉTODO</th> <th>VALOR</th> <th>INTERPRETACION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Densidad Aparente (Da)</td> <td>g/cc</td> <td>Anillo con volumen conocido</td> <td>0,58</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			DETERMINACIÓN ANALÍTICA	UNIDAD	MÉTODO	VALOR	INTERPRETACION	Densidad Aparente (Da)	g/cc	Anillo con volumen conocido	0,58	
DETERMINACIÓN ANALÍTICA	UNIDAD	MÉTODO	VALOR	INTERPRETACION								
Densidad Aparente (Da)	g/cc	Anillo con volumen conocido	0,58									
Observaciones: Ninguna.												
Los resultados son válidos únicamente para la muestra en referencia Este documento ha sido producido electrónicamente y es válido sin la firma Este documento no puede ser reproducido total ni parcialmente, sin la autorización formal de CORPOICA CORPORACION COLOMBIANA DE INVESTIGACION AGROPECUARIA, NIT: 800194600-3 CENTRO DE INVESTIGACIÓN TIBAITATA KILOMETRO 14 VÍA MOSQUERA, MOSQUERA (CUNDINAMARCA) TELÉFONOS: 4227300 EXT.: 1414, 1369 E-MAIL: ypaia@corpoca.org.co												

FIN DEL INFORME




# Anexo 6. Análisis densidad aparente hectárea 3 años

INFORME N° 249- FS17 (20842-20844) Karen Ariza 2017-12-20

	VINCULACIÓN DE CONOCIMIENTO Y TECNOLOGÍA	Código: VC F 115				
	Reporte de Resultados Laboratorios de Servicios una Muestra	Versión: 2				
		Fecha de vigencia: (01.02.2016)				
<b>LABORATORIO DE SUELOS, AGUAS Y PLANTAS</b>						
<b>1. Información del cliente</b> Nombre y Apellido: KAREN ARIZA Cédula o NIT: 1123117106 Dirección: BARRIO LUIS CARLOS GALAN Dpto.: PUTUMAYO Municipio: MOCCA Tel. fijo/Celular: 3204207931 Tipo de análisis: Densidad aparente,		<table border="1"> <tr> <td># DE SOLICITUD</td> <td>CODIGO DE LABORATORIO</td> </tr> <tr> <td>249</td> <td>FS17-20843</td> </tr> </table>	# DE SOLICITUD	CODIGO DE LABORATORIO	249	FS17-20843
# DE SOLICITUD	CODIGO DE LABORATORIO					
249	FS17-20843					
<b>2. Información de la muestra</b> Identificación: 2 HECTAREA Matriz: SUELO Vereda: RUMIYACO Finca: CAMPO ALEGRE Cultivo: CACAO Topografía: PLANO  Fecha de recepción: 2017-12-11 Fecha de reporte: 2017-12-20		   Jamer Ricardo Jiménez. (E7882) Líder Unidad de Laboratorio de Suelos				
DETERMINACIÓN ANALÍTICA	UNIDAD	MÉTODO	VALOR	INTERPRETACION		
Densidad Aparente (Da)	g/cc	Anillo con volumen conocido	0,71			
Observaciones: Ninguna.						
Los resultados son válidos únicamente para la muestra en referencia Este documento ha sido producido electrónicamente y es válido sin la firma. Este documento no puede ser reproducido total ni parcialmente, sin la autorización formal de CORPOICA CORPORACION COLOMBIANA DE INVESTIGACION AGROPECUARIA, NIT: 800194600-3 CENTRO DE INVESTIGACIÓN TIBAITATA KILOMETRO 14 VÍA MOSQUERA, MOSQUERA (CUNDINAMARCA) TELÉFONOS: 4227900 EXT.: 1414, 1369 E-MAIL: ypaaz@corpoica.org.co						

## Anexo 7. Análisis densidad aparente hectárea 6 años

INFORME N° 249- FS17 (20842-20844) Karen Ariza 2017-12-20

	VINCULACIÓN DE CONOCIMIENTO Y TECNOLOGÍA	Código: VC_F_115		
	Reporte de Resultados Laboratorios de Servicios una Muestra	Versión: 2		
LABORATORIO DE SUELOS, AGUAS Y PLANTAS		Fecha de vigencia: (01.02.2016)		
<b>1. Información del cliente</b> Nombre y Apellido: KAREN ARIZA Cédula o NIT: 1123317106 Dirección: BARRIO LOS CARLOS GALAN Distrito: PUTUMAYO Municipio: MOCOA Tel. fijo/Celular: 3204207931 Tipo de análisis: Densidad aparente,		# DE SOLICITUD: 249 CÓDIGO DE LABORATORIO: FS17-20842		
<b>2. Información de la muestra</b> Identificación: 1 HECTAREA Matriz: SUELO Vereda: RUMIYACO Finca: CAMPO ALEGRE Cultivo: CACAO Topografía: PLANO Fecha de recepción: 2017-12-11 Fecha de reporte: 2017-12-20		  Javier Ricardo Jiménez (E7882) Líder Unidad de Laboratorio de Suelos		
DETERMINACIÓN ANALÍTICA	UNIDAD	MÉTODO	VALOR	INTERPRETACION
Densidad Aparente (Da)	g/cc	Anillo con volumen conocido	0,56	
Observaciones: Ninguna.				
Los resultados son válidos únicamente para la muestra en referencia. Este documento ha sido producido electrónicamente y es válido sin la firma. Este documento no puede ser reproducido total ni parcialmente, sin la autorización formal de CORPOICA. CORPORACION COLOMBIANA DE INVESTIGACION AGROPICUARIA, NIT: 800194600-3 CENTRO DE INVESTIGACIÓN TIBAITATA KILOMETRO 14 VÍA MOSQUERA, MOSQUERA (CUNDINAMARCA) TELÉFONOS: 4127300 EXT.: 1414, 1369 E-MAIL: ypaer@corpoica.org.co				