

**CUANTIFICACION DE LA CAPTURA DE CARBONO EN LOS CULTIVOS DE
CAFÉ VARIEDAD (*Castillo*) DE 2, 3 Y 4 AÑOS DE EDAD, VEREDA SAN JOSÉ
DEL PEPINO, MUNICIPIO DE MOCOA PUTUMAYO.**

NELLY LEANDRA ANGULO CABEZAS

TULIA ELENA QUISTIAL LARA

INSTITUTO TECNOLOGICO DEL PUTUMAYO

FACULTAD DE INGENIERIA

MOCOA-PUTUMAYO

2016

CUANTIFICACION DE LA CAPTURA DE CARBONO EN LOS CULTIVOS DE CAFÉ VARIEDAD (*Castillo*) DE 2, 3 Y 4 AÑOS DE EDAD, VEREDA SAN JOSÉ DEL PEPINO, MUNICIPIO DE MOCOA PUTUMAYO.

NELLY LEANDRA ANGULO CABEZAS

TULIA ELENA QUISTIAL LARA

Trabajo de grado, modalidad Tesis para optar el título de Ingeniería Ambiental

Asesor

MIGUEL ANGEL CANCHALA DELGADO

Ingeniero Agrónomo

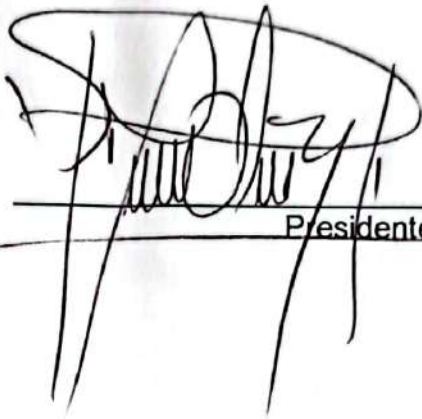
INSTITUTO TECNOLOGICO DEL PUTUMAYO

FACULTAD DE INGENIERIA

MOCOA-PUTUMAYO

2016

Nota de aceptación



Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Mocoa, 30 de septiembre de 2016.

El contenido del presente trabajo es responsabilidad única y exclusivamente de sus autores, y no comprometen a Jurados, Asesores y al Instituto Tecnológico del Putumayo.

DEDICATORIA

En esta oportunidad, quiero darle gracias a Dios por permitirme lograr un propósito más en mi vida. Debido a que durante mi formación tuve que pasar situaciones difíciles pero que con mi lucha constante y dedicación logre culminar de manera satisfactoria.

De igual manera quiero agradecer a mis padres, José Leito Angulo y María Yolima Cabezas; quienes durante mi carrera, como profesional estuvieron brindándome todo su apoyo moral y económico para que yo pudiera salir adelante y; que el día de mañana tenga una mejor calidad de vida.

Le agradezco a mis hermanos y familiares que de una u otra manera estuvieron allí motivándome para seguir adelante.

A mis profesores, que me formaron en esta etapa tan importante de mi vida e hicieron de mí una persona luchadora y con nuevos conocimientos.

Finalmente, doy gracias a Jaime Acosta Canticuz por estar a mi lado a pesar de todas las adversidades que se han presentado.

NELLY LEANDRA ANGULO CABEZAS

DEDICATORIA

En especial quiero dedicar este trabajo de grado a Dios por acompañarme siempre en el transcurso de mi vida y darme la fortaleza suficiente para emprender cada día nuevos retos.

A Olga Eliza Garcia por brindarme su apoyo incondicionalmente y animarme a salir a adelante en mis estudios. Estaré siempre agradecida por haber sido una madre más para mí.

Quiero dedicar también esta tesis a mis padres que me dieron la vida y me criaron cuando era una niña. De igual manera dedico este trabajo a Claudia María Álvarez por educarme para ser una persona de bien, por sus consejos, por cuidarme y enseñarme que el estudio es una herramienta fundamental para la vida.

Por último dedico este logro a Edier Fernando Garcia, por estar siempre con migo, apoyarme incondicionalmente y darme fuerzas para luchar por lo que me propongo. Eres mi complemento que me brinda felicidad.

TULIA ELENA QUISTIAL

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradecer al Instituto Tecnológico del Putumayo por habernos permitido formarnos profesionalmente, de igual manera al cuerpo de docentes por las enseñanzas brindadas.

A nuestro asesor Miguel Angel Canchala por acompañarnos en el trayecto de la investigación, orientarnos, despejarnos dudas y dedicar parte de su tiempo en la elaboración de la tesis.

A don Jairo Muñoz por abrirnos las puertas de la finca Puerta del Sol y permitimos llevar a cabo el desarrollo de la tesis de grado. También estamos muy agradecidas por la confianza depositada en nosotras y su amabilidad con la cual nos ha recibido. A si mismo agradecer al señor Leonel Sanabria y a su hermano Jairo Sanabria trabajadores de la finca por colaborarnos cuando lo hemos necesitado, su sencillez y gentileza fueron algunas de muchas cualidades que poseen que nos hicieron sentir bien. A demás aprendimos mucho de ellos debido a que tienen demasiados conocimientos que han adquirido como caficultores.

Al profesor Pablo quien nos aportó muchos conocimientos y nos realizó algunas sugerencias las cuales fueron fundamentales en la elaboración del proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	19
1. TITULO	20
1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	20
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	20
1.3. JUSTIFICACIÓN	22
1.4. OBJETIVOS	23
1.4.1. Objetivo general.....	23
1.4.2. Objetivos específicos	23
1.5. MARCO REFERENCIAL	23
1.5.1. Estado del arte.....	23
1.5.2. Marco conceptual.....	25
1.5.3. Marco teórico	26
1.5.3.1. Ciclo del carbono	26
1.5.3.2. Fijación de dióxido de carbono	28
1.5.3.3. Valoración de los sistemas agrícolas en la captura de carbono	28
1.5.3.4. Valoración económica del servicio eco-sistémico de captura de carbono	29
1.5.3.5. El carbono en los sistemas agrícolas.....	30
1.5.3.6. El papel de los bosques en el cambio climático	31
1.5.3.7. Efecto invernadero.....	32

1.5.3.8. Dióxido de carbono (CO ₂) y su rol en el efecto invernadero.....	32
1.5.3.9. Carbono en el suelo	33
1.5.3.10. Contribución de la captación de CO ₂ con el ambiente	34
1.5.3.11. Carbono en la materia orgánica muerta	34
1.5.3.12. Ecuaciones alométricas en la captura de carbono.....	35
1.5.3.13. Descripción de la especie de la presente investigación café variedad (Castillo).....	35
1.5.3.14. Distribución del café en el departamento del Putumayo..	40
1.5.4. Marco legal	41
1.6. HIPOTESIS	43
1.7. DISEÑO METODOLOGICO	43
1.7.1. Tipo de investigación	43
1.7.2. Diseño de investigación	44
1.7.3. Población	44
1.7.4. Muestra	44
1.7.5. Localización del área de estudio	44
1.7.6. Geomorfología.	47
1.7.7. Características edafoclimática	47
1.7.8. Hidrología.....	48
1.7.9. Descripción de los procedimientos empleados en la captura de carbono....	49
1.7.9.1. Biomasa área arbórea.....	50
1.7.9.2. Ramas.....	51
1.7.9.3. Tronco... ..	53
1.7.9.4. Biomasa radicular.	54

1.7.9.5. Biomasa en materia orgánica muerta (hojarasca y detritos).....	57
1.7.9.6. Determinación de carbono de los cultivos de café variedad (<i>Castillo</i>).	60
2. ANALISIS DE RESULTADOS.....	62
2.1. CULTIVO DE CAFÉ DE 2 AÑOS	63
2.1.1. Biomasa área arbórea.	63
2.1.2. Biomasa radicular.	64
2.1.3. Biomasa en materia orgánica muerta (hojarasca y detritos).	65
2.2. CULTIVO DE CAFÉ DE 3 AÑOS	67
2.2.1. Biomasa área arbórea.	67
2.2.2. Biomasa radicular.	69
2.2.3. Biomasa en materia orgánica muerta.	70
2.3. CULTIVO DE CAFÉ DE 4 AÑOS	71
2.3.1. Biomasa área arbórea.	71
2.3.2. Biomasa radicular.	73
2.3.3. Biomasa en materia orgánica muerta.	74
2.4. DETERMINACIÓN DE LA CAPTURA DE CARBONO TOTAL EN EL CULTIVO DE CAFÉ DE 2 AÑOS	75
2.5. DETERMINACIÓN DE LA CAPTURA DE CARBONO TOTAL EN EL CULTIVO DE CAFÉ DE 3 AÑOS	77
2.6. DETERMINACIÓN DE LA CAPTURA DE CARBONO TOTAL EN EL CULTIVO DE CAFÉ DE 4 AÑOS	78
2.7. ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN EN LOS TRES CULTIVOS DE CAFÉ.....	80
2.8. CARBONO TOTAL SECUESTRADO EN LOS CULTIVOS DE CAFÉ DE 2,3 Y 4 AÑOS DE EDAD	81

2.9. STOCK DE CARBONO TOTAL SECUESTRADO EN LOS CULTIVOS DE CAFÉ DE 2,3 Y 4 AÑOS DE EDAD	83
2.10. CARBONO SECUESTRADO EN ÉPOCA DE LLUVIA Y SECA	85
3. CONCLUSIONES	87
4. RECOMENDACIONES	89
BIBLIOGRAFIA	90
ANEXO.....	101

LISTA DE CUADROS

Pág.

Cuadro 1. Municipios productores de café.....	40
Cuadro 2. Normatividad	41
Cuadro 3. Descripción del sistema de café (<i>Castillo</i>).....	46
Cuadro 4. Coeficiente de variación en los tres cultivos de café.....	80

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Secuestro de carbono en biomasa área arbórea	63
Gráfica 2. Secuestro de carbono en biomasa radicular	65
Gráfica 3. Secuestro de carbono en biomasa en materia orgánica muerta (hojarasca y detritos)	66
Gráfica 4. Secuestro de carbono en biomasa área arbórea	68
Gráfica 5. Secuestro de carbono en biomasa radicular	69
Gráfica 6. Secuestro de carbono en biomasa en materia orgánica muerta (hojarasca y detritos)	70
Gráfica 7. Secuestro de carbono en biomasa área arbórea	72
Gráfica 8. Secuestro de carbono en biomasa radicular	73
Gráfica 9. Secuestro de carbono en biomasa en materia orgánica muerta (hojarasca y detritos)	74
Gráfica 10. Secuestro de carbono total en el cultivo de 2 años	76
Gráfica 11. Secuestro de carbono total en el cultivo de 3 años	77
Gráfica 12. Secuestro de carbono total en el cultivo de 4 años	79
Gráfica 15. Carbono total secuestrado en los cultivos de café de 2, 3 y 4 años de edad	82
Gráfica 13. Stock de carbono total en los cultivos de café de 2, 3 y 4 años	84
Gráfica 14. Carbono total secuestrado en época de lluvia y seca	85

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. El ciclo del carbono.....	27
Figura 2. Árbol de café (<i>Castillo</i>) de la finca Puerta del Sol.....	37
Figura 3. Árbol de café extraído de la finca Puerta del Sol.....	39
Figura 4. Área de cultivo de café.....	45
Figura 5. Sistema de café, dos (2) años de edad en la finca Puerta del Sol.....	47
Figura 6. Parte media Rio Pepino.....	49
Figura 7. Cultivo de café cerca de montaña.....	49
Figura 8. Medición del árbol en la finca Puerta del Sol.....	51
Figura 9. Empacado de muestras para envió al laboratorio del ITP.....	52
Figura 10. Peso del árbol en la Finca Puerta del Sol.....	52
Figura 11. Ramas secas después de haber salido del horno.....	53
Figura 12. Pesado del DAP.....	54
Figura 13. Rotulado de sub-muestras.....	54
Figura 14. Proceso de lavado de raíces.....	55
Figura 15. Pesado de raíces.....	55
Figura 16 Recuadro de 0.5m*0.5m (0.25m ²).....	58
Figura 17. Secado de sub-muestras en el horno del Instituto Tecnológico del Putumayo.....	59
Figura 18. Muestra de los cultivos de diferentes edades.....	61

RESUMEN

El presente estudio se llevó a cabo en una plantación de café variedad (*Castillo*), en la finca de propiedad del señor Jairo Muñoz, en cultivos de diferentes edades (2, 3 y 4 años), la investigación se desarrolló con el objetivo de cuantificar la captura de carbono, este cultivo se encuentra en la vereda San José del Pepino, municipio de Mocoa Putumayo.

Para ello fue indispensable la extracción de varios árboles de café, La primera extracción fue de 30 árboles de café de diferentes edades en temporada de lluvia, la segunda extracción se efectuó en tiempo seco en donde se obtuvieron 30 árboles, para un total de 60 árboles extraídos. Para determinar la cuantificación de carbono se eligió el método directo siguiendo la metodología propuesta por Rüginitz et al (2009), después se aplicó un análisis estadístico utilizando las siguientes variables: la media, la varianza, la desviación estándar y el coeficiente de variación.

A partir de los datos obtenidos en el análisis estadístico se comprobó que: existen diferencias significativas entre el cultivo de 2 y 4 años en cuanto a la captura total de carbono, para el cultivo de 2 años se fijaron 10.64 ton/ha, mientras que el cultivo de 4 años obtuvo un valor de 19.24 ton/ha. En cuanto a los muestreos realizados en época seca y de lluvia, la mayor captura de carbono se presentó en temporada seca con un valor de 20.89 ton/ha, mientras que en período de lluvia se obtuvo 18.77 ton/ha. Respecto a la hojarasca y los detritos fueron los valores menos significativos de captura de carbono, siendo el cultivo de 4 años el que mayor CO₂ capturo con una media de 1.26 ton/ha, mientras que el cultivo de 2 años reporto una media de 0.84 ton/ha.

Palabras claves: Cultivos de café de diferentes edades, Captura de carbono, Biomasa aérea arbórea, Biomasa en materia orgánica muerta, Biomasa radicular.

ABSTRACT

The present study was carried out in a coffee plantation variety (Castle), on the farm owned by Mr. Jairo Muñoz, in cultures of different ages (two, three and four years), the research was conducted with the aim of quantifying carbon sequestration, this crop is in the village of San Jose del Pepino, Putumayo town of Mocoa.

The first extraction was thirty coffee trees of different ages in the rainy season, the second extraction was carried out in dry weather where thirty trees were obtained for a total of sixty harvested trees. To determine the direct carbon quantification method was chosen following the methodology proposed by Rüginitz et al (2009), after statistical analysis using the following variables were applied: the mean, variance, standard deviation and coefficient of variation.

From the data obtained in the statistical analysis it was found that: there are significant differences between the cultivation of two and four years in terms of total carbon sequestration, for growing two-year fixed 10.64 t / ha, while the four-year crop obtained a value of 19.24 t / ha. As for the samples taken in dry and rainy season, most carbon sequestration in dry season was presented with a value of 20.89 t / ha, while in rainy period 18.77 t / ha was obtained. Regarding the litter and debris were the least significant carbon sequestration values still growing four years that more CO₂ captured with an average of 1.26 t / ha, while cultivating two years reported an average of 0.84 ton /he has.

Keywords: Coffee crops of different ages, carbon sequestration, tree-ground biomass, dead organic matter biomass, root biomass.

INTRODUCCIÓN

El aumento progresivo de la deforestación como producto del uso inadecuado del suelo, ha traído como consecuencia variaciones en las condiciones climáticas y una acumulación de gases contaminantes en la atmósfera. Uno de los problemas de mayor importancia a nivel mundial, es el cambio climático atribuido principalmente a las emisiones de CO₂ y CH₄ generados por la combustión y la agricultura (Nick et al., 2013).

Gases como el CO₂ pueden ser asimilados mediante el proceso de fotosíntesis, ya que durante el crecimiento de los cultivos, las plantas consumen CO₂ atmosférico. Por lo tanto, la implementación de sistemas de cultivos de café, desde un punto de vista medioambiental, puede ser una opción interesante debido al papel que puede ejercer en la lucha contra el cambio climático (Fuentes, et al., 2013).

En este sentido, se han realizado investigaciones enfocadas a mitigar los efectos del cambio climático, que permiten determinar la capacidad de fijación de carbono de especies vegetales. Para lo cual, se emplea metodologías establecidas como la guía de determinación de carbono que permite estimar la biomasa sobre el suelo, la biomasa subterránea y en última instancia el carbono total; y de esta manera cuantificar el aporte de una especie en los procesos de mejoramiento de las condiciones del ambiente.

Con base en lo anterior, llevamos a cabo nuestra investigación sobre la captura de carbono en un cultivo de café de diferentes edades (2,3 y 4 años), en dos épocas una seca y la otra de lluvia, ubicada en finca Puerta del Sol de la vereda el Pepino. Para los muestreos y recolección del material se empleó la metodología propuesta por Rüginitz y; para sistematización de los datos se realizó un análisis

estadístico de las variables como: la media, la varianza, la desviación estándar y el coeficiente de variación.

De esta manera, se logró la cuantificar la cantidad de carbono secuestrada por los diferentes cultivos y al mismo tiempo establecer si las plantaciones de café pueden convertirse en una alternativa de minimización de los efectos del cambio climático; avanzando así en la implementación de cultivos agrícolas de manera sostenible, que al mismo tiempo brinden un servicio ambiental y generan ingresos económicos.

El siguiente trabajo tiene cuatro capítulos: Capítulo uno, Título del proyecto, Formulación del problema, Descripción del problema, Justificación, Objetivos, Marco referencial y Diseño metodológico; Capítulo dos: Análisis de resultados, Capítulo tres: Conclusiones y Capítulo cuatro: Recomendaciones.

1. TITULO

CUANTIFICACION DE LA CAPTURA DE CARBONO EN LOS CULTIVOS DE CAFÉ VARIEDAD (*Castillo*) DE 2, 3 Y 4 AÑOS DE EDAD, VEREDA SAN JOSÉ DEL PEPINO, MUNICIPIO DE MOCOA PUTUMAYO.

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿CUÁL ES LA CANTIDAD DE CARBONO CAPTURADO EN LOS CULTIVOS DE CAFÉ VARIEDAD (*Castillo*) DE 2, 3 Y 4 AÑOS DE EDAD, VEREDA SAN JOSÉ DEL PEPINO, MUNICIPIO DE MOCOA PUTUMAYO?

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La Amazonía es la más extensa de las regiones colombianas, la de mayor cobertura de bosque natural y la más biodiversa. Sin embargo, la implementación de sistemas productivos como la ganadería, ha conllevado a la fragmentación de los diferentes ecosistemas, trayendo como consecuencia variaciones en el clima por la acumulación de gases contaminantes en la atmosfera.

Aun cuando la mayor parte de la superficie amazónica sigue cubierta por bosque húmedo tropical, se encuentra en curso acelerado proceso de intervención, cuyas manifestaciones más comunes son la deforestación y la degradación ambiental, debido a que ciertas plantaciones reducen la capacidad de fijación de carbono.

Frente a esta situación juega un papel fundamental los sistemas agrícolas, ya que se convierten en reguladores de la cantidad de biomasa en el suelo. Debido, a que estos sistemas mediante la fotosíntesis son capaces de absorber CO₂ de la

atmosfera. En este aspecto, el municipio de Mocoa ha establecido unos sistemas de producción de los cuales sobresalen: la caña panelera, el café, el plátano, la yuca, la piña, el maíz, el chontaduro, los cítricos y los frutales promisorios, con los cuales se pretende brindar la seguridad alimentaria y así mismo mitigar los impactos causados por la deforestación.

Además, los árboles juegan un papel importante en el ciclo global del carbono, porque cuando una planta crece; progresivamente acumula dióxido de carbono y lo convierte en biomasa y, si esta biomasa se almacena de forma estable se puede capturar y retener una cantidad significativa de carbono atmosférico durante mucho tiempo.

Con fundamento en lo anterior desarrollamos la investigación sobre la captura de carbono en los cultivos de café variedad (*Castillo*) de diferentes edades y de esta manera se determinó la cantidad de carbono fijado en la biomasa aérea arbórea, biomasa en materia orgánica muerta y biomasa radicular; con el propósito de determinar cuál de los tres cultivos secuestra mayor carbono.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Un estudio realizado por Isaza (2014) manifiesta que el café es uno de los productos más cultivados a nivel nacional e internacional según reportes de la Federación Nacional de Cafeteros, en la actualidad, 553.000 familias producen café, y cerca de cuatro millones de colombianos dependen de este cultivo en 1.102 municipios del país. Por otra parte en el Componente rural parte III (2000) mencionan que el área sembrada con café en el Municipio de Mocoa es de 24 hectáreas, que corresponden al 1.81% del área del sector agrícola con un rendimiento de 2.850 kilogramos por hectárea y una producción de 68,4 toneladas. Entre las principales veredas cultivadoras de este producto están La Tebaida, Las Mesas, Campucana y San Martín.

Como se evidencia es grande el potencial que presentan los sistemas de producción de café a nivel nacional y municipal es por esta razón que estos sistemas son considerados como importantes sumideros de carbono los cuales contribuyen a mitigar los problemas de emisiones de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), metano (CH_4) entre otros.

Mediante la presente investigación se trató de brindar una solución a la problemática ambiental que hoy en día se está viviendo (cambio climático) y además; se pretendió que este estudio sirviera como aporte a otras investigaciones de captura de carbono, buscando de esta forma minimizar los impactos negativos que la deforestación ha generado en los bosques del municipio de Mocoa Putumayo.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

CUANTIFICAR LA CAPTURA DE CARBONO EN LOS CULTIVOS DE CAFÉ VARIEDAD (*Castillo*) DE 2, 3 Y 4 AÑOS DE EDAD, VEREDA SAN JOSÉ DEL PEPINO, MUNICIPIO DE MOCOA PUTUMAYO.

1.4.2. Objetivos específicos

- Estimar la captura de carbono de la biomasa área arbórea en los cultivos de café variedad (*Castillo*) de diferentes edades.
- Determinar la captura de carbono presente en la biomasa en la materia orgánica muerta de los cultivos de café de 2, 3 y 4 años.
- Cuantificar la cantidad de captura de carbono en la biomasa radicular de los cultivos de café variedad (*Castillo*).
- Determinar la captura de carbono total en los cultivos de café de 2, 3 y 4 años de edad.

1.5. MARCO REFERENCIAL

1.5.1. Estado del arte. Respecto a estudios realizados sobre captura de carbono en cultivos de café existe poca información, debido a esto se tomaron otros estudios con otras especies agrícolas y forestales, como: Pinos, Laurel, café, entre otros. A continuación se encuentran algunas investigaciones realizadas:

En Medellín (Colombia) se desarrolló un trabajo denominado "Metodología para la cuantificación de existentes y flujo de carbono en plantaciones forestales"; donde

se establecieron 44 parcelas en plantaciones con y sin entresaca de *Pinus patula* entre 6,5 y 29,6 años para el sitio promedio. Con el fin de evaluar el carbono en: componentes de los árboles de la especie plantada (madera, corteza, ramas, acículas y conos), las raíces, hojarasca fina, necromasa y otras especies dentro de la plantación (Gutiérrez y Lopera, 2001).

En la finca la Unión de la vereda La Cabaña en el municipio de Manizales, se desarrolló una investigación, donde con el objetivo era evaluar el balance de emisiones y captura de carbono en sistemas de producción de café, identificar y cuantificar aquellos procesos del sistema de producción de café que intervienen positivamente o negativamente en el balance de carbono e identificar el balance de carbono que se presenta en el sistema de producción. Para hacer la evaluación, se utilizó la herramienta CoolFarmTool®. Usando la herramienta CoolFarmTool®. La herramienta fue desarrollada por SustainableFoodLab (Laboratorio de Alimentos Sostenibles), Universidad de Aberdeen, Unilever plc (Isaza, 2014).

En Costa Rica se adelantó una investigación en Jardín Botánico del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y las fincas Zonex y Aquiares, en el cual se establecieron 18 parcelas temporales de muestreo (PTM) de 1000 m² en los sistemas de uso de la tierra (SUT), bosque secundario (BS), y dos SAF con café: laurel-café (LC) y poró-café (PC); cuyo objetivo de estudio fue determinar el potencial en el almacenamiento de carbono en los sistemas agroforestales y en los bosques secundarios del Corredor Biológico Volcánica Central-Talamanca (CBVCT) (Kleinn, et al, 2001).

Un estudio realizado en Ecuador por Corral., et al, (2005), sobre Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con café Arabigo y Cacao, en dos zonas agroecológicas del litoral ecuatoriano. El objetivo era cuantificar el carbono fijado y almacenado en sistemas silvoagrícolas con café y

cacao; y, estimar el valor económico del servicio ambiental de fijación y almacenamiento de carbono.

En Riobamba-Ecuador se desarrolló una investigación por Rodríguez y Cargua (2013), acerca de la Elaboración de un inventario forestal multipropósito con énfasis en el contenido de carbono de las diferentes clases de uso de tierra, parroquia Achupallas, Cantón Alausí, Provincia de Chimborazo. Con la finalidad de elaborar un inventario forestal multipropósito con énfasis en el contenido de carbono de las diferentes clases de uso de tierra, parroquia Achupallas, cantón Alausí, provincia de Chimborazo.

1.5.2. Marco conceptual. Presenta un amplio contenido de conceptos claves que se definen de forma clara y concisa dentro de la investigación como se describen a continuación:

Biomasa por encima del suelo: Toda la biomasa viva por encima del suelo incluyendo el tronco, el tocón, las ramas, la corteza, semillas y las hojas.

Biomasa: Se considera por biomasa a todo el conjunto de elementos vivos que componen un espacio geográfico y que actúan en combinación de muchas maneras diversas afectándolo tanto positiva como negativamente.

Detritos: Materia resultante de la disgregación de una masa sólida, especialmente de una roca. También se dice de residuos, desechos, desperdicios o materias inútiles producto de la elaboración y/o descomposición de algo.

Hojarasca: Este término hace referencia a las hojas que han caído de los árboles y cubren el suelo. Las hojas caídas alimentan el suelo del bosque, ya que generan humus y nutrientes que son recuperados por ellos mismos. Gracias a ellas se retornan al suelo los bioelementos necesarios para mantener su productividad.

Sumideros de carbono: Se conoce como sumidero todo sistema o proceso por el que se extrae de la atmósfera un gas o gases y se almacena. Las formaciones vegetales actúan como sumideros por su función vital principal, la fotosíntesis (proceso por el que los vegetales captan CO₂ de la atmósfera o disuelto en agua y con la ayuda de la luz solar lo utilizan en la elaboración de moléculas sencillas de azúcares).

1.5.3. Marco teórico. Contiene una serie de temas encaminados al cumplimiento de los objetivos, dentro de la temática a tratar se encuentra: el ciclo del carbono, fijación del dióxido de carbono, el carbono en los bosques, en el suelo y en la materia orgánica, entre otros.

1.5.3.1. Ciclo del carbono. El ciclo del carbono es considerado como un conjunto de cuatro depósitos interconectados: la atmósfera, la biosfera terrestre, los océanos y los sedimentos. Estos depósitos son fuentes que cumplen la opción de liberar el carbono, o de ser sumideros que absorben carbono de otra parte del ciclo. (Ciesla W.M., 1996: Connolly y Corea 2007).

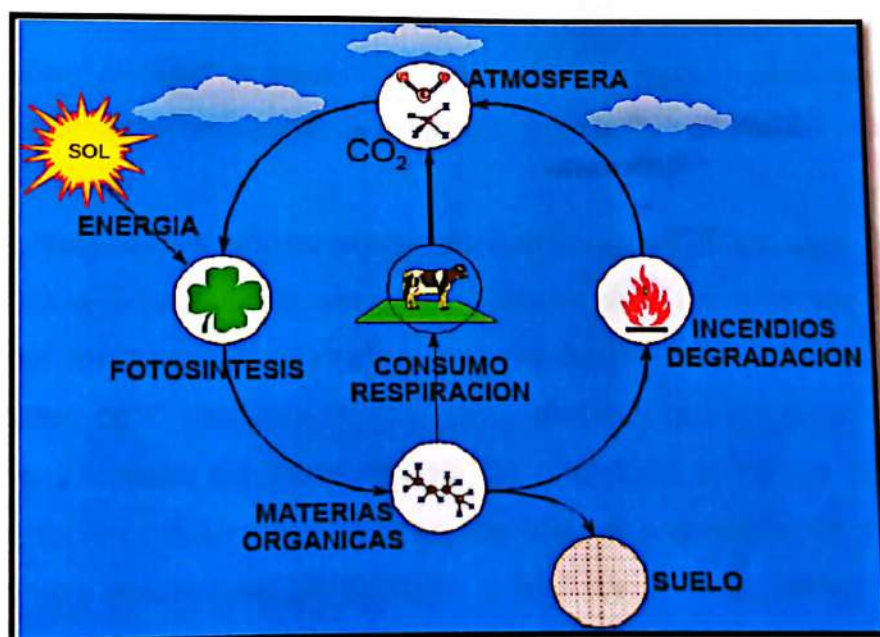
Una investigación efectuada por Connolly. Et al (2007) manifiesta que en general, las plantas verdes absorben el CO₂ de la atmósfera a través de la fotosíntesis, para transformarlos en elementos de importancia para el crecimiento y desarrollo de los vegetales. El carbono, se deposita en el follaje leñoso de los troncos y ramas principales de los árboles. Por esta razón los bosques son considerados importantes reguladores en el nivel de carbono atmosférico (CO₂).

En los ecosistemas terrestres, la vía más importante del flujo de carbono atmosférico a la vegetación y el suelo es biológica, por medio de la fotosíntesis y la descomposición, respectivamente. Este flujo involucra muchos procesos interactuantes, los cuales mantienen el equilibrio dinámico del intercambio de gases atmósfera planta suelo. La deforestación puede afectar este equilibrio

dinámico de intercambio de gases, por lo que es muy importante conocer cuáles son los mecanismos que lo controlan (Oliva y García 1998 citado por Zamora, Juan. 2003).

Según Castellanos y col. 1991 citado por Zamora, Juan. (2003), afirman que el carbono fijado por las plantas se transforma en moléculas móviles, que se asignan a las diferentes estructuras de la planta para satisfacer sus demandas fisiológicas y estructurales. Esta asignación determina las rutas por las cuales se dará posteriormente el flujo de C al suelo. Cada especie de planta asignará más o menos C para producir biomasa en la parte aérea o en la parte subterránea. Por ejemplo, la biomasa subterránea en la selva estacional representa entre 40 y 50 % de la biomasa total, mientras que en el bosque templado y la selva húmeda, la biomasa subterránea representa menos del 15%.

Figura 1. El ciclo del carbono



Fuente: Zamora, Juan. (2003)

1.5.3.2. Fijación de dióxido de carbono. Mota, et al. (sf) menciona que la fijación de carbono es la incorporación del dióxido de carbono en compuestos orgánicos. Donde, dependiendo del tipo de fijación de CO₂, la planta tendrá un metabolismo distinto y por lo tanto, se clasifican en plantas C-3, C-4 o CAM. En ellas, tanto la eficiencia del uso del agua y como la tasa de fijación de CO₂ es diferente.

De acuerdo con Silva, (sf) se afirma que la fijación de CO₂ por parte de los árboles depende de varias del tipo de especie, la calidad del sitio (suelo, clima, topografía), el manejo y cuidados. Debido a que la mayor actividad de fijación de CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ liberado, manteniendo un constante equilibrio natural.

1.5.3.3. Valoración de los sistemas agrícolas en la captura de carbono.

Si se compara el C total de los sistemas naturales el de los sistemas agrícolas, se concluye que los sistemas agrícolas anuales acumularon aproximadamente la misma cantidad de C total que los bosques, mientras que los sistemas agrícolas permanentes y mixtos, un poco menos. La diferencia entre los bosques y los sistemas agrícolas anuales fue que en los últimos prácticamente todo el C del sistemas estaba acumulado en el suelo y el C de la parte aérea de estos fue prácticamente insignificante. La gran capacidad de captura de C en el suelo por los sistemas agrícolas tradicionales, es un hecho que aparentemente no ha sido reportado en la literatura (Etchevers, A. et al. 2001).

Según Robert, Michel (2002) la agricultura con cobertura viva o muerta es una práctica concreta del manejo del suelo que permite al mismo tiempo su cobertura con plantas que dan protección contra la erosión y que proveen además residuos de biomasa para aumentar la materia orgánica del suelo. Para ser completamente efectiva, tanto la cobertura viva como la muerta deben ser efectuadas en el lugar y en combinación con la labranza de conservación (manejo agrobiológico).

Para Carvajal, Micaela. (sf) unas buenas prácticas agrícolas o una gestión sostenible de las fincas (no dejar el suelo descubierto, utilizar cantidades exactas de abono en el momento y en el lugar exacto, no quemar cosechas y reducir el arado) supondrían dejar de emitir millones de toneladas de gases de efecto invernadero. Por esto, se establece un código de buenas prácticas agrarias relativas a la protección del suelo, al mantenimiento de la materia orgánica y de la estructura del suelo y a la conservación de los hábitats y del paisaje, incluida la protección de los pastos permanentes.

Este cambio en el modelo agronómico podría suponer un balance positivo de CO₂ en las superficies agrícolas. Con un conocimiento y gestión adecuados, este sector puede contribuir a la mitigación de estos gases mediante la adecuación del laboreo de la tierra, la promoción de la producción ecológica y el uso más eficiente de recursos en la maquinaria agrícola, convirtiéndose finalmente en eficiente (Carvajal, Micaela. sf).

1.5.3.4. Valoración económica del servicio eco-sistémico de captura de carbono. De acuerdo con la Secretaria de medio ambiente y recursos forestales (2004) se entiende los servicios ambientales como los procesos y las funciones de los ecosistemas. Por lo tanto, los servicios ambientales o *eco sistémicos* son los beneficios *intangibles* que los diferentes ecosistemas ponen a disposición de la sociedad, ya sea de manera natural o por medio de su manejo sustentable. En consecuencia, la base de los servicios ambientales se halla en los componentes y procesos que integran los ecosistemas.

Según investigaciones llevadas a cabo por López, Germán (2015) manifiesta que a nivel político, la valoración económica se calcula por tonelada de dióxido de carbono emitida a la atmósfera. A la fecha, se han vertido muchas opiniones para establecer un precio para la valoración económica del servicio de captura de carbono por tonelada de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) que sea fijado o se emita, en el mercado de carbono. Por ejemplo, se encuentran las siguientes: (i) el Ministerio del Reino Unido (9.55 euros para el 2014 y 18.08 euros el año 2016) (ARES, 2014:10); (ii) la Administración de los Estados Unidos de Norteamérica (USD 48) (CLIMATE SPECTATOR, 2013); (iii) la empresa Royal Dutch Shell (USD 40) como forma de promover una energía menos contaminante que el carbón como es el gas (CLIMATE PROGRESS, 2013: López, Germán 2015); entre otros.

Es interesante mencionar la relación impuesto – emisión de dióxido de carbono tiene precedentes positivos. Por ejemplo, el ahora inexistente impuesto de 23 dólares australiano por tonelada de dióxido de carbono emitido en Australia por dos años hasta el año 2012 demostró que las emisiones disminuyeron en 9% en el sector energético (TCK, 2014) (López, Germán 2015).

1.5.3.5. El carbono en los sistemas agrícolas. La agricultura, es un sector estratégico básico ya que al tiempo que produce alimentos, retira CO₂ de la atmósfera, también se presenta como un instrumento idóneo para colaborar con el consumidor, las grandes cadenas de supermercados y el resto de partes interesadas en la mitigación del cambio climático, en este momento en que la inquietud del cambio climático está modificando los esquemas de funcionamiento del mercado (Elias y Abarca, 2008).

Espada (2013) afirma que solo es posible desde las agriculturas eco-eficientes, es decir, aquellas que obtengan un balance positivo de carbono, fijando más CO₂ del que emiten y comportándose como un sumidero neto de CO₂.

De acuerdo con estudios realizados con cultivos de café, se afirma que estos capturan en promedio 110 t C·ha⁻¹, al ser sistemas perennes y con un manejo adecuado. Donde los residuos se incorporen al suelo se puede asegurar que esta cantidad de carbono almacenado se mantiene (Espinosa, W. Et al., 2012).

1.5.3.6. El papel de los bosques en el cambio climático. Los bosques juegan un doble papel: el de sumideros de carbono y el de fuente emisora de CO₂ a la atmósfera. Esto también los convierte en agentes y víctimas del cambio climático global (Lugo y Brown 1993, citado por Gramajo y Estuardo 2002) por lo tanto, debería conocerse su rol en los procesos que implica el cambio climático.

Del total de bosques reportado, la mayoría de los sumideros de carbono están localizados en bosques tropicales de baja latitud (62%), mientras que la mayoría del carbono del suelo está localizado en los bosques de alta latitud (boreal) con 54% (Hernández, 2001).

Los bosques tropicales juegan un rol importante en el ciclo del carbono global porque contribuyen a regular la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera y, por lo tanto, la tasa del cambio climático. Se estima que las emisiones de carbono debido a la deforestación tropical representan aproximadamente 20% de las emisiones totales generadas por las acciones humanas (1.6 Gt C a⁻¹; Denman et al., 2007; Honorio, Eurídice y Baker. 2010).

Los programas de reducción de emisiones causadas por la deforestación y degradación de los bosques (REDD) y los mecanismos de desarrollo limpio (MDL) forestal son buenos ejemplos. En el caso de los proyectos REDD se busca reducir las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera debido a la deforestación tropical y el punto clave de estos proyectos es que deben demostrar reducciones reales y medibles en las emisiones de dióxido de carbono que no habrían ocurrido sin la ejecución del proyecto (Rendón et al., 2009; Honorio, Eurídice y Baker. 2010).

1.5.3.7. Efecto Invernadero. La temperatura del planeta va ascendiendo gradualmente debido al llamado efecto invernadero, causado por la presencia creciente en el aire de una serie de gases que atrapan el calor impidiendo su salida al espacio exterior. Estos gases transmiten el calor atrapado al resto de la atmósfera provocando un incremento general de temperatura (Hernández, 2001).

Según Robert, Michel. (2002) otro factor que juega un papel importante en la captura de carbono es la temperatura, la que podría aumentar en algunas partes del globo terráqueo. Tal incremento podría provocar una mayor tasa de mineralización de la materia orgánica por los microorganismos y una mayor tasa de respiración de las raíces.

Este efecto de la temperatura sobre la mineralización podría ser significativo en los países fríos, donde la temperatura es un factor limitante y donde puede ser esperado un incremento de las emisiones de CO₂. Sin embargo, en la mayor parte del mundo es de esperar un aumento de la captura de carbono (Van Ginkel et al., 1999).

1.5.3.8. Dióxido de carbono (CO₂) y su rol en el efecto invernadero. La deforestación contribuye al aumento de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera de dos formas: disminuyendo la cobertura vegetal capaz de fijar carbono atmosférico y promoviendo la liberación de dióxido de carbono a la atmósfera a través de la quema y descomposición de biomasa, incluida la materia orgánica del suelo (Pérez et al., 2005).

La captura de carbono está asociada con la restauración de la vegetación después del abandono de las tierras deforestadas, el crecimiento de los bosques jóvenes ya sean plantaciones o bosques secundarios, y el crecimiento neto de bosques primarios. Desde el punto de vista del cambio de uso de la tierra, la liberación del carbono a la atmósfera está asociada con la tala del bosque para la agricultura, la explotación comercial de los bosques y el incremento de la oxidación de la materia

orgánica en los suelos (Ericsson et al., 1993; citado por Connolly Wilson, Ronda Yuri, 2014).

1.5.3.9. Carbono en el suelo. Es la cantidad de carbono que contienen los compuestos orgánicos del suelo. Es el principal elemento que forma parte de la materia orgánica del suelo (MOS). El COS se encuentra en forma de residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y microorganismos, hasta cadenas carbonadas muy transformadas y estables como los ácidos húmicos (Martínez, et al. 2008).

Donde, los principales componentes de almacenamiento de carbono en el uso de la tierra son: el carbono orgánico del suelo (COS) y en la biomasa arriba del suelo. Se ha estimado que el carbono (C) en la biomasa de los bosques primarios y secundarios varía entre 60 y 230 y entre 25 y 190 t ha⁻¹, respectivamente, y que el C en el suelo puede variar entre 60 y 115 t ha⁻¹. Brown. et ál. 1997; Ibrahim. et ál. 2005: citado Muhammad, I. et al. 2007).

Mientras, que el potencial de los sistemas agroforestales (suelos y biomasa) para almacenar carbono puede variar entre 20 y 204 t ha⁻¹, estando la mayoría de este carbono almacenado en los suelos, pudiendo incluso tener incrementos de C anual que pueden variar entre 1,8 y 5,2 t ha⁻¹ (Brown. et ál. 1997; Ibrahim. et ál. 2005: citado Muhammad, I. et al. 2007).

De manera que, la finalidad principal de la fijación del carbono en el suelo no solo está relacionada con el cambio climático sino también con la reducción de la contaminación medioambiental y con la degradación de los recursos naturales, y en definitiva con la salud y el bienestar de la sociedad (Muñoz y Sacristán. sf).

Es así como el efecto del cambio climático sobre la captura de carbono en estudios recientes confirma el incremento de la tasa de crecimiento de los bosques en las zonas templadas y en los países nórdicos. En lo que se refiere a los bosques tropicales, existen algunas medidas hechas en la Amazonía donde se

ha encontrado un aumento de la biomasa (Phillips et al., 1998: citado FAO, 2002) de 0,62 t C/ha/año, lo cual para un área de 7.000 millones de hectáreas significa una captura de carbono de Gt 0,44 C/año.

1.5.3.10. Contribución de la captación de CO₂ con el ambiente. El secuestro de carbono del suelo ha sido aceptado en muchos países del mundo con el objetivo de contribuir a la reducción de la contaminación ambiental, creando conciencia en las personas para lograr la estabilidad de sus terrenos y además mejorando su producción creando así un ambiente de bienestar de una manera sostenible (Jiménez, et al. sf).

Donde, el efecto del cambio climático sobre la captura de carbono en estudios recientes confirma el incremento de la tasa de crecimiento de los bosques en las zonas templadas y en los países nórdicos. En lo que se refiere a los bosques tropicales, existen algunas medidas hechas en la Amazonía donde se ha encontrado un aumento de la biomasa (Phillips et al., 1998: citado FAO, 2002) de 0,62 t C/ha/año, lo cual para un área de 7.000 millones de hectáreas significa una captura de carbono de Gt 0,44 C/año (ONU, 2002).

1.5.3.11. Carbono en la materia orgánica muerta. La materia orgánica muerta que está sobre la superficie del suelo inorgánico, es decir, incluye hojarasca y detrito fino como ramas de diámetro menor a 2 cm, flores, frutos y materia descompuesta. (Honorio y Baker 2010).

La materia orgánica del suelo es por tanto la suma de los residuos orgánicos (animales y plantas) en diferentes grados de descomposición. La materia orgánica mejora la calidad del suelo, ayuda a prevenir la escorrentía, incrementa su humedad y contribuye a moderar las fluctuaciones diarias de temperatura en las capas superiores del suelo. La materia orgánica del suelo también funciona como un enorme almacén de carbono: se estima que los organismos vivos suponen

aproximadamente un cuarto de todo el carbono de los ecosistemas terrestres, mientras que los otros tres cuartos están almacenados en la materia orgánica contenida en los suelos (Dennis y Rochette sf).

1.5.3.12. Ecuaciones alométricas en la captura de carbono. Es una herramienta matemática que permite conocer de forma simple, la cantidad de biomasa de un árbol por medio de la medición de otras variables. Las ecuaciones son generadas a partir de los análisis de regresión, donde se estudian las relaciones entre la masa (generalmente en peso seco) de los árboles y sus datos dimensionales (ej. altura, diámetro). Lo cual permite el cálculo de la biomasa de una especie forestal de una manera no destructiva y extrapolable a situaciones de crecimiento similares (Correa 2015).

Existen métodos directos e indirectos para estimar la biomasa de un bosque. El método directo consiste en cortar el árbol y pesar la biomasa directamente, determinando luego su peso seco. Una forma de estimar la biomasa con el método indirecto es a través de ecuaciones y modelos matemáticos calculados por medio de análisis de regresión entre las variables colectadas en terreno y en inventarios forestales (Brown, 1997 citado por Gramajo y Estuardo 2002). También se puede estimar la biomasa a través del volumen del fuste, utilizando la densidad básica para determinar el peso y un factor de expansión para determinar el peso seco total (biomasa total del árbol) (Schlegel, 2001).

1.5.3.13. Descripción de la especie de la presente investigación café variedad (Castillo)

- **Taxonomía**

Familia: Rubiáceas

Género: Coffea

Especie: Coffea arabica

- **Origen.** Esta variedad altamente productiva, nace del cruzamiento entre la variedad Caturra y el híbrido de Timor, dando como resultado una variedad compuesta de líneas mejoradas, que difiere de sus predecesores a nivel genético, en una mayor resistencia contra la roya y en mayores niveles de adaptación en su cultivo (Alvarado, y otros, 2005; Cárdenas y Pardo. 2014).

Según Cárdenas y Pardo (2014) por ser una variedad compuesta, (*Castillo*) tiene una amplia diversidad genética dando como resultado siete variedades: CASTILLO NARANJAL, CASTILLO EL TAMBO, CASTILLO SANTA BÁRBARA, CASTILLO EL ROSARIO, CASTILLO LA TRINIDAD, CASTILLO PARAGUAICITO Y CASTILLO PUEBLO BELLO; estas se adaptan a las principales zonas de cultivo de café en el país. Con respecto a la calidad de la taza se puede decir que es un café homogéneo frente a las variedades arábicas cultivadas en el país, posee un aroma pronunciado entre floral y frutal, de acidez media alta, grano de tamaño grande, cuerpo y amargor suaves.

Figura 2. Árbol de café (*Castillo*) de la finca Puerta del Sol



Fuente: Este trabajo

- **Zonas de distribución.** Según Prieto, Johan (2012) el café se consolidó en Santander, Boyacá y Cundinamarca. Esta región domino el negocio de café hasta el Siglo IXX. Solo a partir del año 1850 el café inició su tránsito hacia otros departamentos, particularmente hacia Antioquia. Se difundió por las montañas de Colombia de la mano de la colonización antioqueña y así llego a Caldas, Risaralda, Quindío, Norte del Valle y Tolima.

Un estudio llevado a cabo por Cortina., et al (2012) reveló que la producción depende de la altitud y de la temperatura. Las primeras flores aparecen alrededor de los 11 meses después de la siembra en el campo, y por lo tanto, la primera producción puede presentarse a los 18-19 meses.

Según Prieto, Johan (2012) la descripción de las especies forestales en la investigación se mencionan a continuación:

- Las hojas salen en pares
- En las flores están los órganos de los dos sexos, son flores hermafroditas.
- Generalmente cada fruto tiene dos semillas
- La raíz logra ingresar hasta 50 centímetros, de la raíz principal salen otras más delgadas que sirven de soporte.
- Tallo y Ramas. El esqueleto del árbol está dado por el tronco y algunas ramas principales.
- La Hoja. Por medio de la hoja la planta lleva a cabo funciones vitales como fotosíntesis, transpiración y respiración.
- Germinación. Normalmente la germinación ocurre alrededor de los 50- 60 días después de la siembra (10).
- La formación de las flores se lleva a cabo de 4 a 5 meses.
- El fruto. Es de color rojo
- La Semilla. Se compone de dos partes: Almendra y Pergamino.
- Producción. planta-año 8, 78 kilogramos.
- Altura. 2, 37 m

Figura 3. Árbol de café extraído de la finca Puerta del Sol



Fuente: Este trabajo

Una investigación de Caracterización de las etapas de fermentación y secado del café la primavera efectuada por Cárdenas y Pardo (2014) demuestra que durante la fase exploratoria se encontraron las condiciones de producción de la beneficiadora de la finca La Primavera, ubicada en Silvania Cundinamarca, Colombia, a una altitud que oscila entre 1.200 y 2700 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura media anual de 20.5 ° C y humedad relativa del 80%. El café que se cultiva es de la variedad (*Castillo*) Santa Bárbara.

1.5.3.14. Distribución del café en el departamento del Putumayo. El departamento de Putumayo se caracteriza por presentar una variedad de productos como la yuca, el plátano, el chontaduro entre otros, no obstante el café ha sido un producto que ha tenido gran acogida por muchos agricultores; a continuación se mencionan los municipios más productores de café en el Putumayo.

- **Municipios Productores**

Cuadro 1. Municipios productores de café

Municipio	Producción/ Ton	%
Mocoa	234	66
Orito	92	26
Puerto Caicedo	30	8
Total	356	100

Fuente: Evaluación Agropecuaria del Putumayo Informe Preliminar de Coyuntura – 2011. 2012.

El café es una rubiácea de gran consumo y demanda, es por esto que últimamente han venido creciendo las áreas dedicadas a este cultivo. En el año 2011 se registraron 95 hectáreas, 75 (375%) hectáreas más con respecto al año 2010 cuando se registraron 20 hectáreas solamente. Mientras que para el área cosechada en el año 2011 se recogieron 31 hectáreas, siendo 11 (55%) hectáreas más con respecto al año 2010 cuando se cosecharon 20 hectáreas (Evaluación Agropecuaria del Putumayo Informe Preliminar de Coyuntura – 2011. 2012)

- **Distribución del café en Mocoa Putumayo.** Según el Plan Básico de Ordenamiento Territorial Componente Rural (sf) el cultivo de café tiene aproximadamente nueve años de establecido en el Municipio de Mocoa; sin embargo, apenas hace dos años, La UMATA inicia su reporte y evaluación,

recomendándolo como uno de los productos agrícolas generadores de enormes bondades sociales (teniendo en cuenta para su manejo, los criterios de sostenibilidad y sustentabilidad). Entre las principales veredas cultivadoras de este producto están La Tebaida, Las Mesas, Campucana y San Martín. En el Municipio de Mocoa, el Café se cultiva principalmente a alturas entre los 800 y 1250 metros sobre el nivel del mar, precipitación media de 4.000 mm anuales y temperaturas entre los 17 y 23°C correspondientes a las zonas agroecológicas Mk, Kv. Y Mg.

El área sembrada con café en el Municipio de Mocoa es de 24 hectáreas, que corresponden al 1.81% del área del sector agrícola con un rendimiento de 2.850 kilogramos por hectárea y una producción de 68,4 toneladas. El producto se comercializa como grano seco en bultos de 62,5 kilogramos los cuales son llevados principalmente a las ciudades de Pitalito y de Pasto (Plan Básico de Ordenamiento Territorial Componente Rural sf).

1.5.4. Marco legal. A continuación, se presenta algunas leyes, decretos y demás normas relacionadas con la protección de los recursos naturales.

Cuadro 2. Normatividad

NORMATIVIDAD	CONCEPTO
CONSTITUCION POLITICA DE COLOMBIA 1991	Artículo 79. Menciona que todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. 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.
PROTOCOLO DE KYOTO DE LA CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS	Tiene su origen en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, busca “la estabilización de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático” y establece una estructura

<p>SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO. 1998. Aprobada en Nueva York el 9 de mayo de 1992.</p>	<p>general para los esfuerzos intergubernamentales encaminados a resolver el desafío del cambio climático.</p>
<p>CONCEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL (CONPES) DE AGOSTO 25 DE 2003.</p>	<p>"Estrategia Nacional para la venta de servicios ambientales de mitigación de cambio climático". Donde, se busca promover la incursión competitiva de Colombia en el mercado internacional de reducciones verificadas de emisiones de GEI. Para ello establece un marco institucional para la definición de política de venta de este servicio ambiental, la consolidación de una oferta de reducción de emisiones verificadas y su mercadeo internacional.</p>
<p>LEY 164 DE 1994 DEL 27 DE OCTUBRE.</p>	<p>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.</p> <p>ARTICULO 4o. COMPROMISOS.</p> <p>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.</p>
<p>DECRETO 948 DEL 5 DE JUNIO DE 1995 5 DE JUNIO.</p>	<p>El presente decreto tiene por objeto definir el marco de las acciones y los mecanismos administrativos de que disponen las autoridades ambientales para mejorar y preservar la calidad del aire, y evitar y reducir el deterioro del medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana ocasionados por la emisión de contaminantes químicos y físicos al aire; a fin</p>

	de mejorar la calidad de vida de la población y procurar su bienestar bajo el principio del desarrollo sostenible.
DECRETO 895 DEL 28 DE MARZO 2008.	Por el cual se modifica y adiciona el Decreto 2331 de 2007 sobre uso racional y eficiente de energía eléctrica. El objetivo fundamental es promover el uso racional y eficiente de la energía y demás formas de energía no convencionales, de tal manera que se tenga la mayor eficiencia energética para asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad de la economía colombiana, la protección al consumidor y la promoción de fuentes de energía no convencionales, de manera sostenible con el medio ambiente y los recursos naturales.

Fuente: Este trabajo

1.6. HIPOTESIS

En los cultivos de café de variedad (*Castillo*) el carbono secuestrado estará en función de la edad, para este caso el cultivo de 4 años será el que mayor carbono secuestra frente a los cultivos de 2 y 3 años.

1.7. DISEÑO METODOLOGICO

Línea de investigación. Reordenación territorial

Sublínea. Estudio de áreas para uso, manejo y conservación de los recursos de la oferta natural.

1.7.1. Tipo de investigación. El tipo de investigación fue descriptiva con enfoque cuantitativo como lo refiere Hernández Sampieri (2014): Los estudios descriptivos

buscan especificar las propiedades, características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Los estudios cualitativos y cuantitativos se realizan a partir de experiencias comparativas, para este caso se tiene una muestra de un cultivo de café variedad (*Castillo*) de diferentes edades ubicado en la Finca Puerta del Sol de la vereda San José del Pepino.

1.7.2. Diseño de investigación. Para la estimación de la biomasa en materia orgánica muerta (hojarasca y detritos) en los diferentes componentes se establecieron parcelas cuadradas de $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$ (0.25m^2), las cuales se construyeron en función de la edad y densidad del cultivo de café de las cuales se recolecto el material dentro del marco; respecto a los árboles seleccionados al azar, se midieron el DAP y altura, se extrajeron y se determina la biomasa a partir de la medición de su peso de manera directa.

El diseño empleado para el análisis de los datos fue descriptivo, donde se manipularon las variables como: la media, la mediana, la varianza, la desviación estándar y el coeficiente de variación con el fin de sistematizar la información.

1.7.3. Población. La población seleccionada en la presente investigación es un sistema de cultivo de café variedad (*Castillo*) de 2, 3 y 4 años, donde se tomó 1 hectárea de cada cultivo, estimando una cantidad de 4000 árboles aproximadamente localizado en la vereda San José del Pepino, en la finca Puerta del Sol vía a Pasto, para el desarrollo del proyecto se siguió la metodología propuesta por Rüginitz et al., (2009).

1.7.4. Muestra. Se extrajo una muestra de 30 árboles de café en época seca y 30 árboles de café para época de lluvia, para un total de 60 plantas.

1.7.5. Localización del área de estudio. El estudio se realizó en el predio Puertas del Sol, ubicado en la vereda San José del Pepino del municipio de

Cuadro 3. Descripción del sistema de café (*Castillo*)

Propietario	Gloria Esperanza Oviedo Salazar
Nombre de la finca	Puerta del Sol
Área del predio	40 ha
Altura sobre el nivel del mar	500 m.s.n.m
Sistema de producción	Agrícola
Especie involucrada	Café (<i>Castillo</i>)
Tiempo de establecido	2,3 y 4 años
Área establecida con los cultivos de café variedad (<i>Castillo</i>) de diferentes edades	2 años: 5 ha 3 años: 2,5 ha 4 años: 2,5 ha
Área de estudio	1 ha por cada cultivo
Densidad del café	4000 por hectárea
Distancia de siembra del café	1,70 metros entre surco y 1,50 metros entre plantas.

Fuente: Este trabajo

Figura 5. Sistema de café, dos (2) años de edad en la finca Puerta del Sol



Fuente: Fuente de este trabajo

1.7.6. Geomorfología. Este sector morfológico presenta variaciones topográficas entre 700 a 600 m.s.n.m., y pendiente suave del 3%, cubiertas de suelo y pastos. Suelo limoarcilloso, rojizo, plástico, explotado en algunos puntos para la fabricación de ladrillo. El drenaje del sector es de tipo dendrítico de valles de poca profundidad y tributarios a el Río Pepino, el cual forma un amplio valle con depósito de material aluvial de cantos rodados heterométricos (Plan de Ordenación y Manejo Cuenca del Rio Pepino –Contrato 075 DE 2003 Fase Diagnostica (2003).

1.7.7. Características edafoclimática. Un reconocimiento realizado por INGEOMINAS en el año 2002 en la cuenca del Rio Pepino se encuentran rocas ígneas del Triásico – Jurásico. Se identifican depósitos recientes del Cuaternario (Q2al, Qt2, Qt1) formando terrazas, en las márgenes de las corrientes hídricas

(Plan de Ordenación y Manejo Cuenca del Río Pepino –Contrato 075 DE 2003 Fase Diagnostica (2003).

La zona cordillerana posee una precipitación anual de 2.500 mm, temperatura promedio entre 12 y 15 grados centígrados, humedad relativa del 80%. Los meses más lluviosos están en la mitad del año y los más secos al finalizar. Entre la zona de tránsito a la llanura amazónica o piedemonte la temperatura promedio está entre los 22 y 24 grados centígrados con una precipitación anual de 3.900 mm anuales y humedad relativa del 83%. La planicie amazónica tiene unas temperaturas promedio superiores a 24 grados centígrados y una precipitación anual de 1.700 mm al año, con una humedad relativa del 80% (Evaluación Agropecuaria del Putumayo Informe Preliminar de Coyuntura – 2011 2012).

En la región la zona de menor radiación solar promedio anual es de 800 a 1.200 horas/año franja entre la cordillera, piedemonte y parte de la llanura, mientras que la de mayor brillo solar va desde 1.600 a 1.800 hora/año que es la correspondiente al extremo oriental en límites con el Amazonas. Estas condiciones permiten considerar para el departamento los pisos térmicos cálido, templado, frío, páramo (Evaluación Agropecuaria del Putumayo Informe Preliminar de Coyuntura – 2011 2012).

1.7.8. Hidrología. La finca Puerta de Sol se encuentra enmarcada dentro de la subcuenca del río Pepino. De igual manera, el predio cuenta con una gran cantidad de nacederos de agua, los cuales finalmente desembocan sobre el río Pepino. En la cuenca del Río Pepino se presentan corrientes hídricas sobresalientes como los ríos Dorado, Pepinito y Pepino, receptores de las diferentes quebradas del área.

En este sentido, las diferentes fuentes hídricas juegan un papel fundamental para el consumo doméstico y demás actividades que se llevan a cabo en la finca, por

tal razón existen áreas estratégicas con el fin de promover la conservación del recurso.

Dentro de los ecosistemas de relevancia en la zona se encuentran: bosque, rastrojo, humedales, pastos y cultivos de café y aguacate; se considera como una formación vegetal de bosque muy húmedo tropical (bmh-T).

Figura 6. Parte media Rio Pepino



Fuente: Este trabajo

Figura 7. Cultivo de café cerca de montaña



Fuente: Este trabajo

1.7.9. Descripción de los procedimientos empleados en la captura de carbono. Para el desarrollo de la presente investigación se escogieron tres cultivos de café variedad (*Castillo*) con edades 2, 3 y 4 años, con el fin de comparar cuál de los tres sistemas captura mayor cantidad de carbono, además se tomaron dos muestras de 30 árboles una en tiempo de lluvia y otra en periodo seco para un total de 60. A continuación se describen los procedimientos que se llevaron a cabo para la extracción de cada uno de los componentes del árbol y asimismo se eligieron las ecuaciones propuestas por Rüginitz et al., 2009 para

estimar el carbono fijado en el componente arbóreo de cada cultivo de diferentes edades.

Después de haber aplicado las ecuaciones planteadas por Rüginitz et al., 2009, se realizó un análisis descriptivo para cada uno de los componentes donde se emplearon las siguientes variables: mediana, varianza, desviación estándar y coeficiente de variación, de esta manera con cada uno de los resultados obtenidos en cada componente se efectuó un consolidado de cada cultivo de diferente época (2, 3 y 4 años) para así realizar una comparación detallada de la fijación de carbono.

1.7.9.1. Biomasa área arbórea. Para la evaluación de la biomasa área arbórea se eligió el método directo el cual consiste en medir las dimensiones básicas del árbol DAP y altura (ver figura 8), después se lo arranca y así se determina la biomasa por medio del peso directo de los componentes del árbol, en cuanto a la biomasa área arbórea hacemos referencia a las ramas y al tronco. Con los datos obtenidos en campo y en laboratorio se realizó una tabulación de todos los datos en Excel, posteriormente se aplicó las ecuaciones propuestas por (Rüginitz et al., 2009) a estas ecuaciones se les realizó un análisis estadístico donde se incluye: la media, la varianza, la desviación estándar y el coeficiente de variación, para así obtener un análisis más detallado de la información, con el fin de cuantificar la captura de carbono en cada uno de sus componentes.

Figura 8. Medición del árbol en la finca Puerta del Sol



Fuente: Este trabajo

1.7.9.2. Ramas. Para la extracción del árbol como tal fue necesaria la ayuda de varias personas debido a que el árbol tenía que ser arrancado desde la raíz, en seguida se procedió a quitar los granos de café que tenían algunos árboles. Estos frutos no se tomaron puesto que no estaban estipulados en la metodología, y además porque algunas plantas no presentaban dichas características.

Después de haber retirado los granos de café se realizó el pesado del árbol esto incluyó las ramas y el tronco (ver figura 9), esto con el fin de determinar el peso total de estos componentes. En cuanto a las ramas de café se utilizó un machete para desprenderlas del tronco, posteriormente se sacó una submuestra representativa de 100gr (ver figura 10) la cual fue pesada en una gramera, estas fueron empacadas en bolsas de papel azúcar, rotuladas y enviada al laboratorio del Instituto Tecnológico del Putumayo.

Figura 10. Peso del árbol en la Finca Puerta del Sol



Fuente: Este trabajo

Figura 9. Empacado de muestras para envío al laboratorio del ITP



Fuente: Este trabajo

Para la obtención del peso seco de la sub-muestras, se procedió a ingresarlas en el horno a una temperatura de 70°C durante 24 horas (ver figura 11) con el propósito de determinar el cálculo del stock de carbono. Para ello se emplearon las ecuaciones planteadas por (Rügnitz et al., 2009).

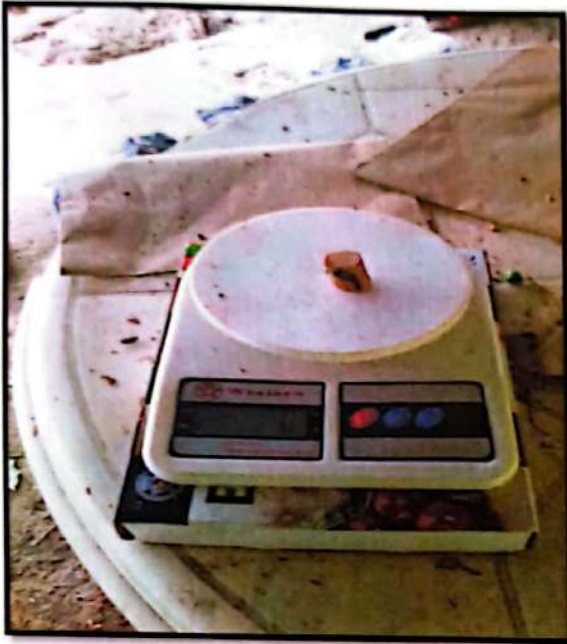
Figura 11. Ramas secas después de haber salido del horno



Fuente: Este trabajo

1.7.9.3. Tronco. Para la medición del DAP extraído del tronco se utilizó un pie de rey, después se cortaron todas las ramas del árbol dejando solamente el tronco el cual fue pesado (ver figura 12), posteriormente se sacó la sub-muestra, para ello se cortó 2 cm de diámetro del tronco de donde se había tomado la medida del DAP, esta sub-muestra del tronco (2cm) fue previamente empacada, rotulada (ver figura 13) y enviada al laboratorio del Instituto Tecnológico del Putumayo para su secado. Es importante resaltar que las sub-muestras del tronco fueron las únicas a las cuales no se les pudo definir un peso específico debido a que los árboles eran de tamaño variable y por ende su peso era distinto.

Figura 12. Pesado del DAP



Fuente: Este trabajo

Figura 13. Rotulado de sub-muestras



Fuente: Este trabajo

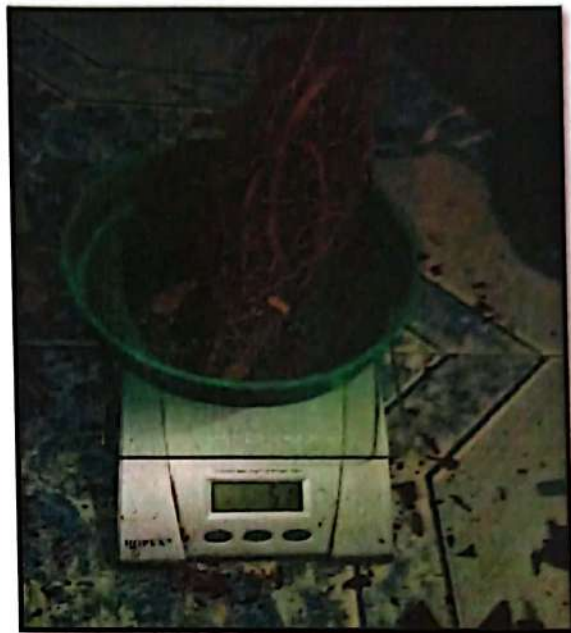
Para la obtención del peso seco de las sub-muestras, se procedió a ingresarlas en el horno a una temperatura de 70°C durante 24 horas con el fin de determinar el cálculo del stock de carbono. Para ello se emplearon las ecuaciones planteadas por (Rügnitz et al., 2009).

1.7.9.4. Biomasa radicular. El componente radicular se lo peso por separado del árbol, para ello se cortó con un serrucho desde el tallo la raíz, después las raíces fueron lavadas con abundante agua (ver figura 14), se las dejó un rato secar con el viento y bajo techo mientras se seguían lavando las demás raíces, posteriormente se efectuó el pesado, después se sacó una sub-muestra de 90 gr utilizando una gramera (ver figura 15), en seguida las sub-muestras fueron empacadas en una bolsa de papel azúcar, finalmente se rotularon y se enviaron al laboratorio del Instituto Tecnológico del Putumayo para ser secadas.

Figura 14. Proceso de lavado de raíces Figura 15. Pesado de raíces



Fuente: Este trabajo



Fuente: Este trabajo

Para la obtención del peso seco de las sub-muestras, se procedió a ingresarlas en el horno a una temperatura de 70°C durante 24 horas (ver figura 13) con el fin de determinar el cálculo del stock de carbono. Para ello se emplearon las mismas ecuaciones de la biomasa área arbórea propuestas por (Rügnitz et al., 2009).

Para la estimación en kilogramo de la biomasa seca de cada uno de los componentes del árbol (raíz, tronco, follaje) se utilizó la siguiente ecuación.

$$\text{BS componente} = (\text{PS muestra} / \text{PH muestra}) * \text{BH componente}$$

Dónde:

BS: Biomasa seca del componente (Kg);

PS: Peso seco de la muestra (g);

PH: Peso húmedo de la muestra (g);

BH: Biomasa húmeda del componente (Kg).

Estimación de la materia seca en toneladas/Ha del sistema. Para la determinación de toneladas de materia seca por hectárea del sistema se utilizó la siguiente ecuación propuesta por (Camacho et al., 2013).

$$BA = (B_{sl} \times n) / 1000$$

Dónde:

BA: Biomasa aérea arbórea (Tn. MS/ha);

B_{sl}: biomasa seca por árbol (Kg. Ms./árbol);

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

n: número de árboles del sistema.

Con los valores obtenidos de los diferentes componentes, se procedió a aplicar un análisis estadístico de las variables como: la media, la varianza, la desviación estándar y el coeficiente de desviación; mediante la aplicación de las siguientes formulas:

Media

$$\bar{x} = \frac{\sum xi}{n}$$

Varianza

$$S^2 = \frac{\sum (xi - \bar{x})^2}{N-1}$$

Desviación estándar

$$\sqrt{s^2} = s = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Coefficiente de variación

$$C.V = \frac{s}{\bar{x}} * 100$$

Este procedimiento se efectuó para todos los componentes expresados, con el propósito de lograr un análisis más detallado respecto a las variaciones de captura de carbono en los cultivo de café de 2, 3 y 4 años.

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

$$\Delta C_{BA} = (B_A * CF)$$

Dónde

ΔC_{BA} = Cantidad de carbono en la biomasa aérea arbórea (ton. C/ha);

BA = Biomasa aérea arbórea (Tn. Ms/ha);

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

1.7.9.5. Biomasa en materia orgánica muerta (hojarasca y detritos). Para realizar el muestreo de hojarasca y detritos se establecieron parcelas temporales aleatorias, donde se empleó un marco cuadrado en material de PVC de 0.5m*0.5m (0.25m²) (Figura16).

El proceso consistió en recolectar todo el material que se encontraba dentro de la parcela, separando la hojarasca y los detritos, después se pesó el material y se sacó una sub-muestra de 20gr de hojarasca y una sub-muestra 10gr para detritos; posteriormente se envolvieron en papel azúcar con su respectivo rotulo, se las envió al laboratorio del Instituto Tecnológico del Putumayo.

Figura 16 Recuadro de 0.5m*0.5m (0.25m²)



Fuente: Este trabajo

Para la obtención del peso seco de las sub-muestras, se procedió a ingresarlas en el horno a una temperatura de 70°C durante 24 horas (ver figura 17) con el fin de determinar el cálculo del stock de carbono. Para ello se utilizaron las mismas ecuaciones de la biomasa área arbórea propuestas por (Rügnitz et al., 2009).

Figura 17. Secado de sub-muestras en el horno del Instituto Tecnológico del Putumayo



Fuente: Este trabajo

Para determinar el carbono presente en toneladas por hectárea de biomasa en materia orgánica muerta (hojarasca y detritos) se aplicó las ecuaciones propuestas por (Rügnitz et al., 2009).

$$BS_{NOA} = Ms \text{ muestra} * 10000 / 0,25 / 1000000$$

Dónde:

BS_{NOA}: biomasa seca de materia orgánica muerta (hojarasca y detritos)

Ms muestra: kg/parcela

10000m²: área del cultivo de café

0,25 m²: área de la parcela

1.000.000: factor de conversión de g a Tn.

Para calcular la cantidad de stock de carbono de biomasa en materia orgánica muerta (hojarasca y detritos), se aplicó la ecuación propuesta por (Rügnitz et al., 2009).

$$\Delta\text{CBN muestra} = \text{BS}_{\text{NOA}} * \text{CF}$$

Dónde:

$\Delta\text{CBN muestra}$: Cantidad de carbono en la biomasa en materia orgánica muerta (hojarasca y detritos) (Tn C/ha o Tn /ha).

CF: es la fracción de carbono (Tn. C /Tn. Ms) determinada en el laboratorio o utilizando el valor padrón del IPCC = 0,5.

Después de tener los datos de la materia seca en ton/ha del componente se prosigió a calcular la biomasa seca por árbol aplicando la siguiente ecuación propuesta por (Rügnitz et al., 2009).

$$\text{BS total individuo} = \text{BS tronco} + \text{BS ramas} + \text{BS hojas} + \text{BS raíces}$$

1.7.9.6. Determinación de carbono total en los cultivos de café variedad (Castillo). Se llevó a cabo mediante la sumatoria del carbono en la biomasa área arbórea, biomasa radicular, biomasa en materia orgánica muerta (hojarasca y detritos) de los cultivos de café variedad (Castillo) de 2,3 y 4 años de edad, donde se aplicó la siguiente ecuación.

$$\Delta\text{C}_{\text{CC}} = \Delta\text{C}_{\text{BA}} + \Delta\text{C}_{\text{BR}} + \Delta\text{C}_{\text{MOM}}$$

Donde

ΔC_{CC} : Cantidad de carbono en los cultivos de café de 2, 3 y 4 años.

ΔC_{BA} : Cantidad de carbono en la biomasa aérea (Tn. C/ha).

ΔC_{BR} : Cantidad de carbono en la biomasa radicular (Tn. C/ha).

ΔC_{MOM} : Cantidad de carbono en la materia orgánica muerta (hojarasca y detritos) (Tn. C/ha).

Figura 18. Muestra de los cultivos de diferentes edades



Fuente: Este trabajo

2. ANALISIS DE RESULTADOS

El estudio se desarrolló en dos épocas una de lluvia y otra seca. El día lunes 27 de junio de 2016 se realizó la primera extracción de 10 árboles de café (*Castillo*) de las diferentes edades (2,3 y 4 años) en temporada de lluvia, la segunda extracción se efectuó en tiempo seco el día miércoles 24 de agosto del presente año, se obtuvieron 10 árboles por edad, para un total de 60 árboles extraídos en los dos períodos. Siguiendo la metodología propuesta por Rüginitz et al (2009) se aplicaron una serie de ecuaciones a los datos obtenidos en campo para determinar el contenido de carbono en cada uno de los componentes de los árboles de café.

Con base en esta información, se hace una consolidación de los datos de acuerdo a los objetivos establecidos en el presente estudio, para lo cual se tuvo en cuenta la biomasa área arbórea, biomasa radicular, biomasa en materia orgánica muerta (hojarasca y detritos) y la fijación de carbono total en los árboles de café variedad (*Castillo*) de diferentes edades (2, 3 y 4 años). Se realizó una estadística descriptiva (media, varianza, desviación estándar y coeficiente de variación), análisis estadístico en el cultivo de café el cual permite visualizar de manera más clara las variaciones de la captura de carbono en los tres cultivos.

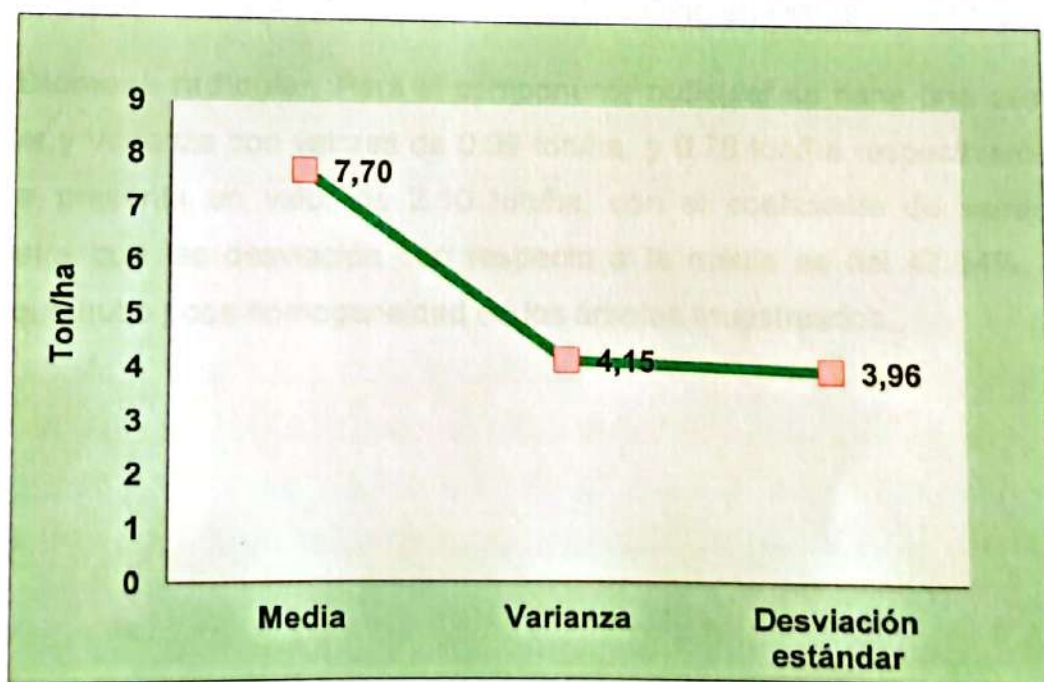
Estas variables se presentan mediante gráficas, las cuales se encuentran de la siguiente manera; inicialmente se presentan el comportamiento de los componentes para cada uno de los tres cultivos y posteriormente se da a conocer el carbono total y; de esta manera se determina en cuál de los tres cultivos hubo mayor captura de carbono.

2.1. CULTIVO DE CAFÉ DE 2 AÑOS

2.1.1. **Biomasa área arbórea.** Para estimar la captura de carbono de la biomasa área arbórea en el cultivo de café de 2 años de variedad (*Castillo*), se realizó una consolidación con los valores obtenidos de los componentes de ramas y tronco en dos épocas una seca y otra de lluvia.

En cuanto al cultivo de café de 2 años en el componente de biomasa área arbórea la media revela un valor de 7.70 ton/ha, mientras que la varianza y la desviación estándar muestra un valor de 4.16 ton/ha y 3.96 ton/ha respectivamente, no obstante con el coeficiente de variación se demuestra que la desviación con respecto a la media es del 51.43%, es decir que se presenta poca homogeneidad de los individuos dentro del cultivo de café.

Gráfica 1. Secuestro de carbono en biomasa área arbórea



Fuente: Este trabajo

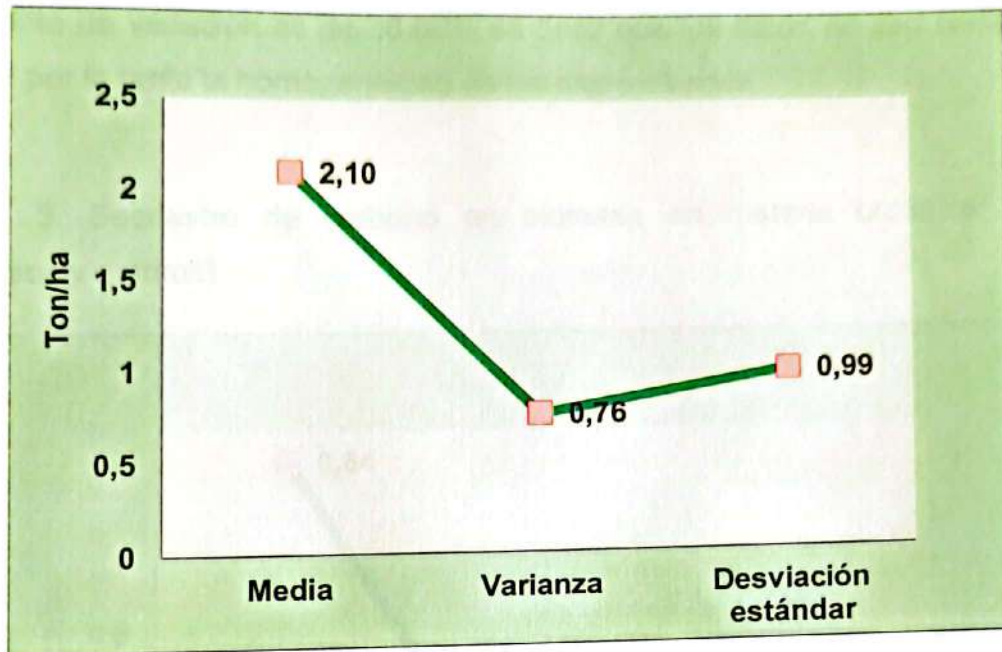
En la gráfica 1 se muestra el comportamiento de las variables estadísticas (media, varianza y desviación estándar); en donde se puede evidenciar que la fijación de carbono en el cultivo de 2 años fue baja según una investigación desarrollada en Riobamba-Ecuador por Rodríguez y Cargua (2013), el autor indica que los cambios efectuados están relacionados con la edad de los árboles los cuales están íntimamente ligados con la tasa de acumulación de biomasa aérea (ramas y hojas), que a su vez influye en el aporte de carbono al suelo a través de la hojarasca.

El tamaño y la edad influyeron en el en captura de carbono en el cultivo de 2 años debido a que los árboles extraídos estaban en etapa de crecimiento lo cual hace que el contenido de carbono fijado no sea estable.

El contenido de carbono puede variar en determinadas especies, condiciones climáticas, estado de la planta entre otras como lo demuestra un estudio realizado en Ecuador por Corral et al (2005), afirma que en las plantas de café arábigo se captura en promedio 1,31 t C/ha en hojas, 1,49 t C/ha en ramas y 1,32 t C/ha tallo.

2.1.2. Biomasa radicular. Para el componente radicular se tiene una desviación estándar y varianza con valores de 0.99 ton/ha y 0.76 ton/ha respectivamente, la muestra presenta un valor de 2.10 ton/ha, con el coeficiente de variación se demuestra que la desviación con respecto a la media es del 47.14%, lo cual indica que hubo poca homogeneidad en los árboles muestreados.

Gráfica 2. Secuestro de carbono en biomasa radicular



Fuente: este trabajo

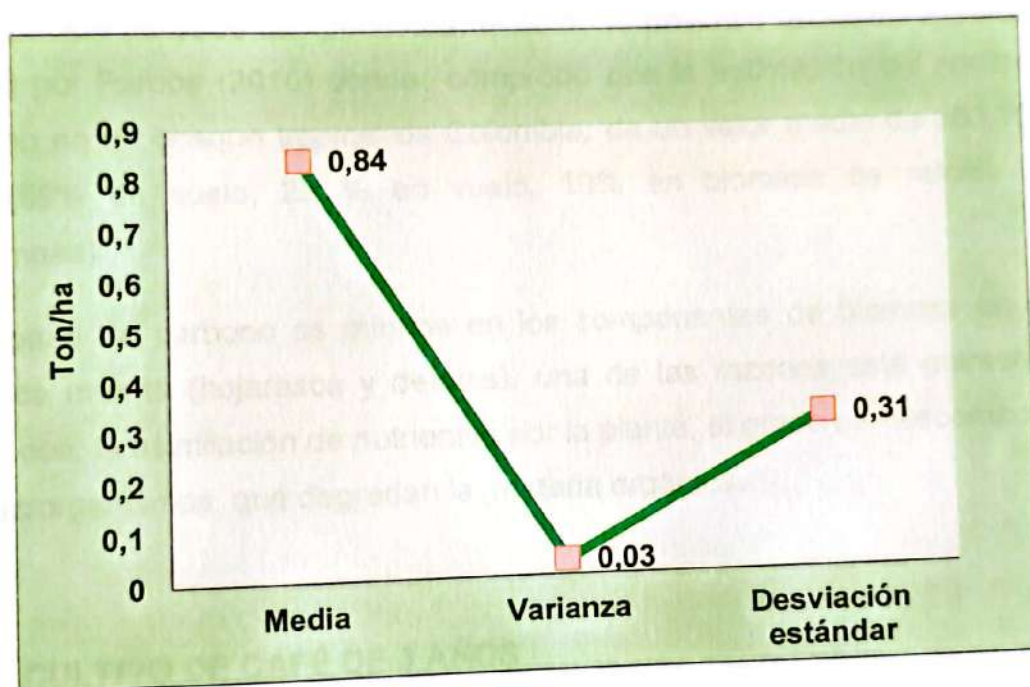
En la gráfica 2 se muestran las variables estadísticas (media, varianza y desviación estándar); donde se puede evidenciar que la fijación de carbono en el cultivo es baja, las razones se deben a que los árboles se encuentran en etapa de crecimiento y se caracterizaban por tener raíces muy finas y de tamaño pequeño.

Sin embargo, si se compara con un estudio realizado por Connolly y Correa (2007), sobre fijación de carbono en un sistema de pino, café ecoforestal, plantaciones energéticas y bosque seco con manejo de regeneración natural, en cuatro municipios de Nicaragua; se afirma que la fuente de raíz dio un valor promedio de 2.38 Tc/ha; a partir de esto se infiere que los valores respecto al secuestro de carbono en el componente radicular son significativos.

2.1.3. Biomasa en materia orgánica muerta (hojarasca y detritos). Respecto a las hojarasca y los detritos que se recolectaron en el recuadro de 0.5×0.5 (0.25m^2) en el cultivo de 2 años se obtuvieron datos relativamente bajos en cada uno de los componentes (ver grafica 3) donde la media es de 0.84 ton/ha, la varianza es de

0.03 ton/ha, mientras que la desviación estándar es de 0.31 ton/ha y el coeficiente de variación es de 36.90% es decir que los datos no son semejantes entre sí por lo tanto la homogeneidad de los datos es poca.

Gráfica 3. Secuestro de carbono en biomasa en materia orgánica muerta (hojarasca y detritos)



Fuente: Este trabajo

Los datos expuestos en la gráfica 3 se encuentran por debajo de lo reportado en una investigación efectuada en Riobamba-Ecuador por Rodríguez y Cargua (2013) donde citan a Gayoso y Schlegel (2001) quien indica que el carbono total acumulado por bosques siempre verdes adultos, alcanza 606,80 tC/ha, con la siguiente distribución: 283,75 tC/ha en la biomasa aérea; 79,92 tC/ha en raíces con diámetros mayores a 5 mm; 2,79 tC/ha en el sotobosque; 53,56 tC/ha en la necromasa; 5,87 tC/ha en la hojarasca; y 180,91 tC/ha en los primeros 30 cm de suelo.

Este resultado demuestra que el secuestro de carbono se presenta en menor proporción en hojarasca y detritos lo cual concuerda con los valores obtenidos en el cultivo de café de 2 años donde la media de fijación de carbono es de 0.84 ton/ha.

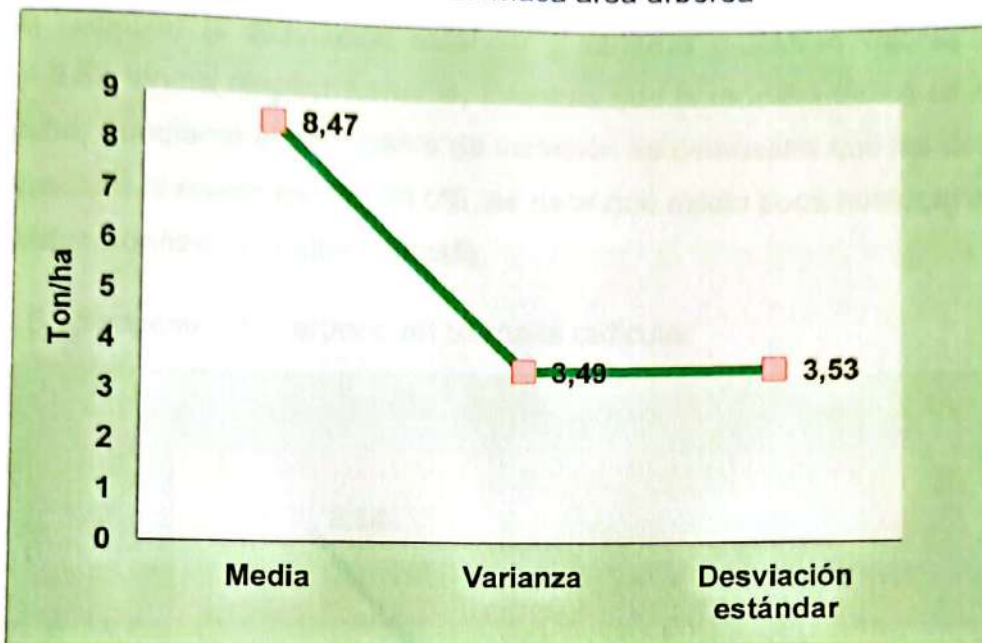
Varios estudios manifiestan que el contenido de carbono en el componente de biomasa en materia orgánica muerta (hojarasca y detritos) es mínimo en comparación de otros componentes tal como lo describe un estudio realizado en Madrid por Pardos (2010) donde comprobó que la estimación del contenido en carbono en un bosque tropical de Colombia, da un valor medio de 383,70 Mg C ha⁻¹ (59% en suelo, 29 % en vuelo, 10% en biomasa de raíces, 2% en necromasa).

La captura de carbono es mínima en los componentes de biomasa en materia orgánica muerta (hojarasca y detritos), una de las razones está estrechamente ligada con, la asimilación de nutrientes por la planta, el grado de descomposición y los microorganismos que degradan la materia orgánica.

2.2. CULTIVO DE CAFÉ DE 3 AÑOS

2.2.1. Biomasa área arbórea. La biomasa área arbórea para el cultivo de 3 años obtuvo un valor de 3.53 ton/ha en la desviación estándar, 3.49 ton/ha la varianza y la muestra fue de 8.47 ton/ha; a partir del coeficiente de variación se demuestra que la desviación con respecto a la media es del 41.68%, es decir que se presenta poca homogeneidad de los individuos dentro del cultivo de café.

Gráfica 4. Secuestro de carbono en biomasa área arbórea



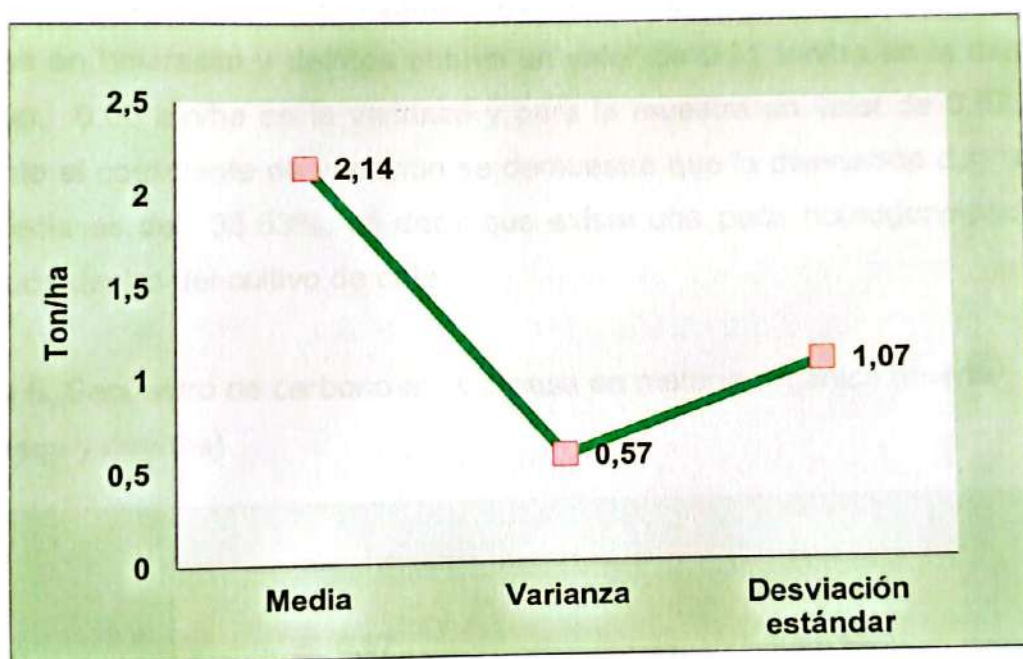
Fuente: Este trabajo

La grafica 4 muestra el análisis estadístico de la media, varianza y desviación estándar; observándose que la fijación de carbono en el cultivo de 3 años es significativa; esto se debe a que de acuerdo con un estudio realizado por Orellana (2012), sobre estimación de carbono almacenado en la zona del núcleo del parque nacional Montaña de Celaque (PNMC) en Honduras; se determina que el 76% de carbono de un árbol está en la parte aérea y el 24% restante se encuentra en las raíces.

Así mismo, se notó que los árboles extraídos presentaban un buen contenido de ramas y se encontraban en buen estado. De igual manera, una investigación realizada por Dobbs (2005), sobre construcción de modelos de estimación de biomasa y área foliar en diez especies arbóreas urbanas en la ciudad de Santiago, afirma que la cantidad de biomasa de los árboles varía según se trate de ramas, fuste, hojas y raíces, dependiendo de distintos factores como la edad, el sitio, especie o tratamiento silvicultural.

2.2.2. Biomasa radicular. El cultivo de café de 3 años en el componente de biomasa radicular la desviación estándar y varianza muestran valores de 1.07 ton/ha y 0.57 ton/ha respectivamente, mientras que la muestra indica un valor de 2.14 ton/ha, mediante el coeficiente de variación se demuestra que las desviación con respecto a la media es del 50.0%, es decir que existe poca homogeneidad de los individuos dentro del cultivo de café.

Gráfica 5. Secuestro de carbono en biomasa radicular



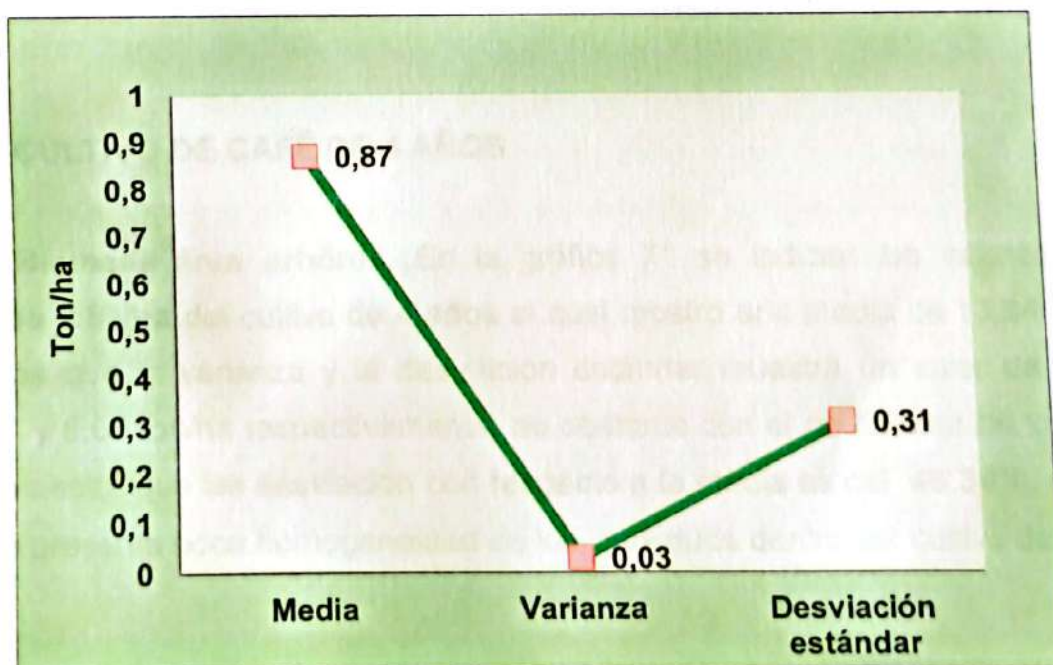
Fuente: Este trabajo

La grafica 5 muestra el análisis estadístico de las variables (media, varianza y desviación estándar); en donde se comprueba que la fijación de carbono en el cultivo de 3 años fue baja, a pesar de que se tiene un cultivo de considerable edad; en tal sentido, Macdiken (1997). Citado por Larrea (2007); afirma que dentro de los estudios de biomasa, la medición de raíces representa un trabajo más amplio y tedioso con niveles bajos de precisión; de acuerdo a una investigación determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de combinaciones agroforestales de *theobroma cacao*, en Lima, Perú.

Po lo tanto, la biomasa en el componente radicular puede ser bajo, como menciona Barriaga (2012), en su trabajo sobre secuestro de carbono en bosques esclerófilos de la Reserva Nacional Robleira del Cobre de Lochas (Chile); al afirmar que la distribución de biomasa en fustes, ramas, hojas y raíces varía considerablemente dependiendo de la especie, edad, sitio, y nivel de perturbación.

2.2.3. Biomasa en materia orgánica muerta. En el cultivo de café de 3 años, la biomasa en hojarasca y detritos obtuvo un valor de 0.31 ton/ha en la desviación estándar, 0.03 ton/ha en la varianza y para la muestra un valor de 0.87 ton/ha, mediante el coeficiente de variación se demuestra que la desviación con respecto a la media es del 35.63%, es decir que existe una poca homogeneidad de los individuos dentro del cultivo de café.

Gráfica 6. Secuestro de carbono en biomasa en materia orgánica muerta (hojarasca y detritos)



Fuente: este trabajo

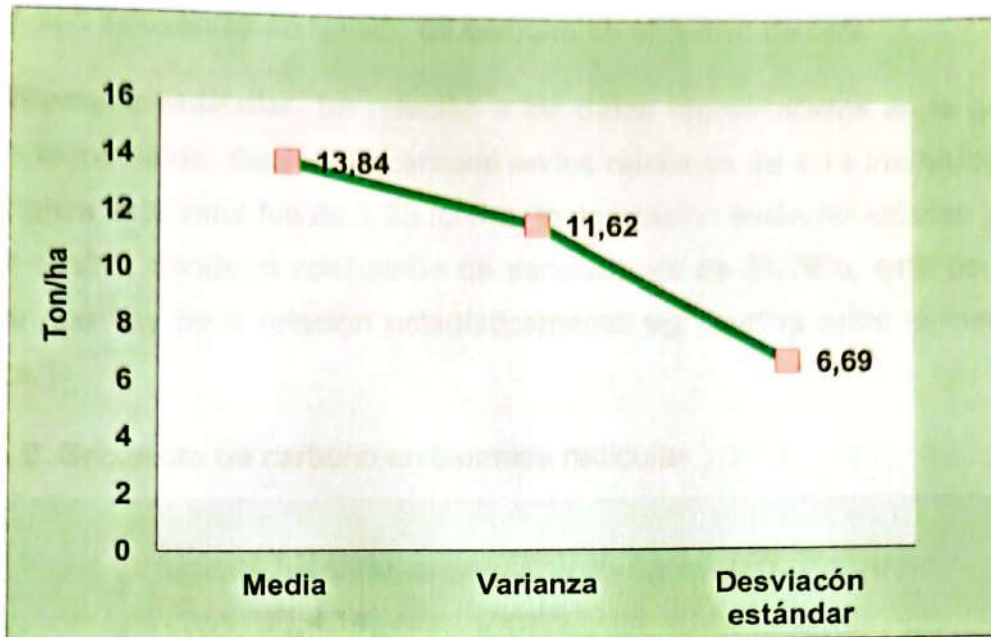
En la gráfica 5 se muestra el comportamiento de la media, varianza y desviación estándar; en donde se nota que la captura de carbono en el cultivo de 3 años es baja. Según, Mosquera et al. (2007), en una investigación sobre cuantificación de caída de hojarasca como medida de la productividad primaria neta en un bosque fluvial tropical en Salero, Choco, Colombia; afirma que la inferioridad en los resultados de hojarasca total se deben probablemente a que el periodo de muestreo, fue inferior (solo seis meses); por lo tanto, para este estudio sólo se hicieron dos muestreos, lo cual se ve reflejado en los valores de obtenidos.

El tiempo de muestreo influyo en la fijación de carbono de hojarasca y detritos; ya que de acuerdo, con una investigación realizada por Calderón y Solis (2012), sobre cuantificación de carbono almacenado en tres fincas en tres estados de desarrollo del bosque de pino (*Pinus oocarpa*) en Dipilto, Nueva Segovia y Calderón y Solis (2012),; menciona que el contenido de carbono en la hojarasca fue de 3.89 t/ha (4 t C/ha); las razones se deben a que se realizó un seguimiento durante 3 meses aproximadamente.

2.3. CULTIVO DE CAFÉ DE 4 AÑOS

2.3.1. Biomasa área arbórea. En la gráfica 7 se indican los valores de la biomasa arbórea del cultivo de 4 años el cual mostró una media de 13.84 ton/ha, mientras que la varianza y la desviación estándar muestra un valor de 11.62 ton/ha y 6.69 ton/ha respectivamente, no obstante con el coeficiente de variación se demuestra que las desviación con respecto a la media es del 48.34%, es decir que se presenta poca homogeneidad de los individuos dentro del cultivo de café.

Gráfica 7. Secuestro de carbono en biomasa área arbórea



Fuente: Este trabajo

Este cultivo indico una media significativa de 13.84 ton/ha, la edad fue un factor influyente en la captura de carbono, es así como una investigación realizada en la Reserva Indígena de Talamanca (San Juan de Pasto) por Ortiz., et al (2006) demuestra que la cantidad de biomasa y Carbono almacenado tienden a estabilizarse a medida que la edad aumenta (aprox. desde el año 10). Esto se explica por el comportamiento típico de las especies forestales, de balancear sus tasas de crecimiento con las tasas de descomposición, a medida que alcanzan su madurez (Chapman y Meyer 1949: Ortiz., et al 2006).

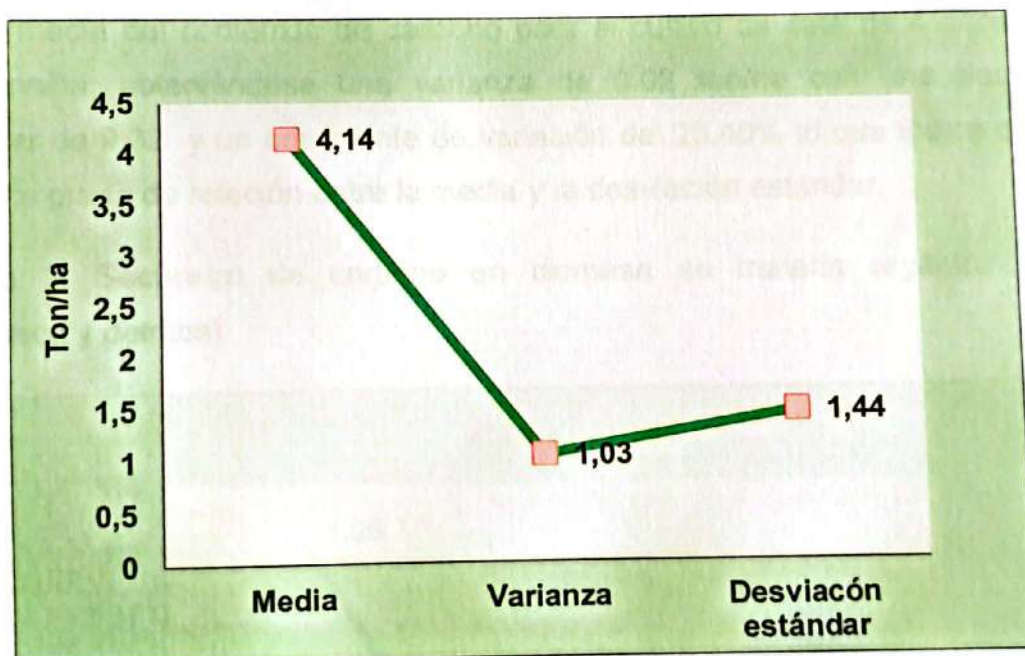
El cultivo de café de 4 años presento mayor captura de carbono en su biomasa área arbórea debido a que se encuentra cerca de la edad madura como lo reporta Pulgarín et al (2007) el cafeto alcanza su desarrollo y productividad máxima entre los 6 y los 8 años de edad.

Una de las características principales de los árboles extraídos es que sus raíces se encontraban a una gran profundidad y el contenido de biomasa área arbórea

estaba presente en mayor proporción, al igual que el diámetro del DAP, estos factores son influyentes en fijación de carbono en el cultivo de café.

2.3.2. Biomasa radicular. En relación a los datos representados en la gráfica 8 se tiene la media de fijación de carbono en las raíces es de 4.14 ton/ha, respecto a la varianza este valor fue de 1.03 ton/ha, la desviación estándar alcanzo un valor de 1.44 ton/ha, donde el coeficiente de variación es de 34.78%, este porcentaje muestra que hay poca relación estadísticamente significativa entre la media y la varianza.

Gráfica 8. Secuestro de carbono en biomasa radicular



Fuente: Este trabajo

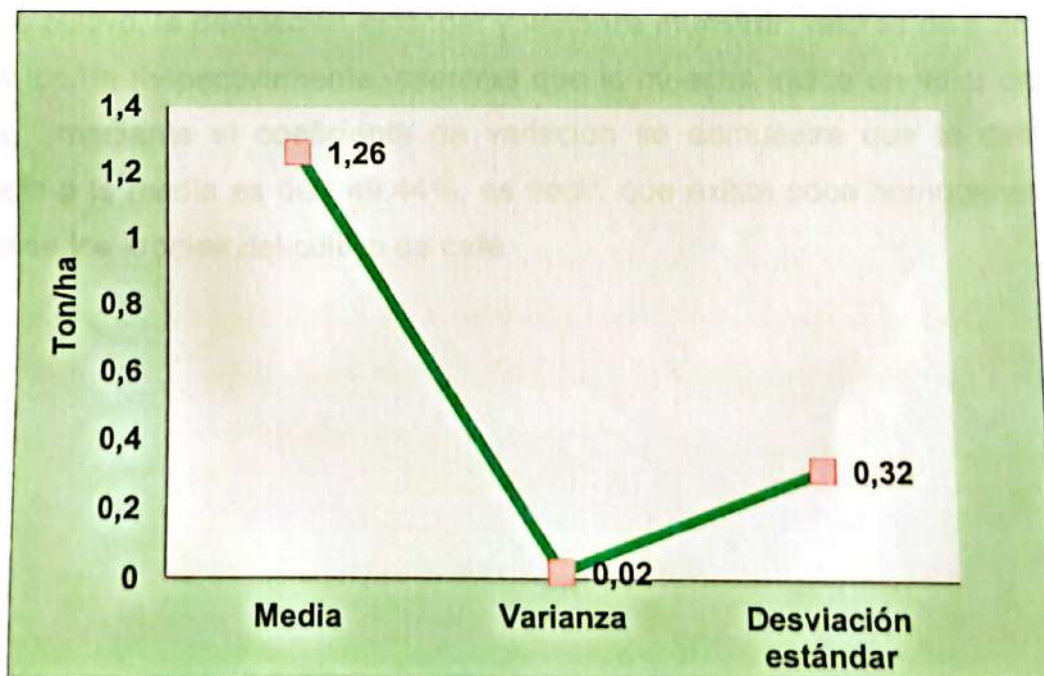
Una investigación efectuado en Kenya por Nutman (1933) citado por Pulgarín et al (2007) donde se tuvo en cuenta un sistema radical de 67 árboles de Coffea arabica entre 6 y 9 años de edad (plantas adultas), en diferentes tipos de suelos. Estableció que un cafeto bien desarrollado posee una raíz pivotante central muy fuerte, a menudo múltiple, que disminuye su diámetro abruptamente y que rara vez se extiende como una unidad reconocible más allá de 45 cm de profundidad.

Estas particularidades presentaron los árboles extraídos del cultivo de 4 años, plantas que se están acercando a la edad adulta, lo cual le da una mayor fijación de carbono en todos sus componentes.

Un estudio elaborado por Connolly y Corea (2007) en un área de pino por en Nicaragua manifestó un almacenamiento de carbono en la raíz de 3.82 tC/ha, respecto a los valores obtenidos la biomasa subterránea en el cultivo de 4 años se encontró que el promedio de carbono fijado por las raíces fue mayor con 4.14 ton/ha.

2.3.3. Biomasa en materia orgánica muerta. En la gráfica 9 se puede observar que la media del contenido de carbono para el cultivo de café de 4 años es de 1.26 ton/ha, obteniéndose una varianza de 0.02 ton/ha con una desviación estándar de 0.32 y un coeficiente de variación del 25.40% lo que indica que hay un cierto grado de relación entre la media y la desviación estándar.

Gráfica 9. Secuestro de carbono en biomasa en materia orgánica muerta (hojarasca y detritos)



Fuente: Este trabajo

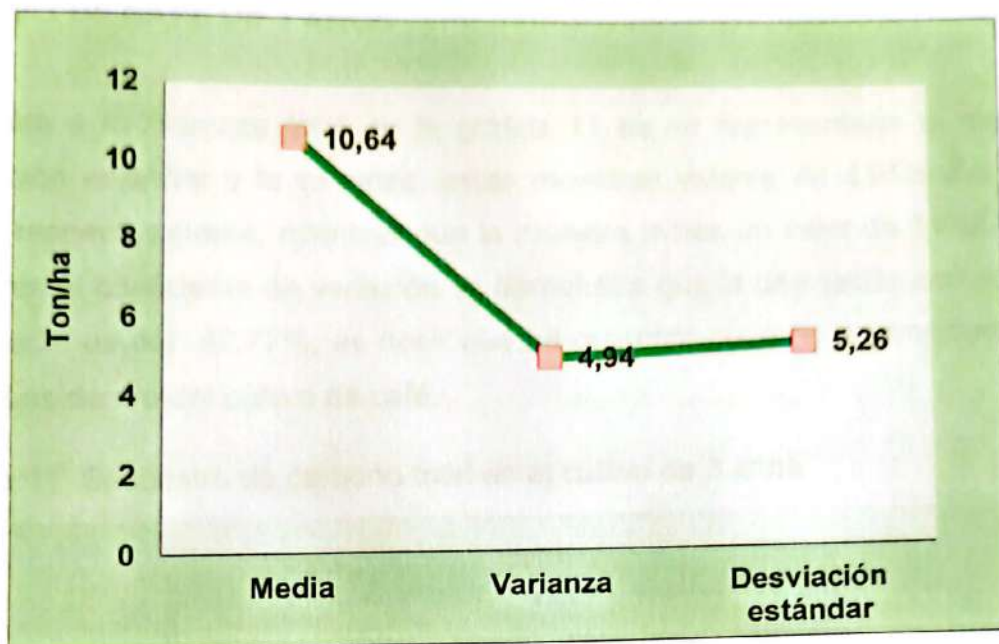
La media registrada en la gráfica 9 es un valor significativo en la materia orgánica muerta (hojarasca y detritos) con 1.26 ton/ha, con este dato se puede establecer que en cuanto a hojarasca y detritos este cultivo fue el que mayor secuestro de carbono realizó, sin embargo analizando los componentes del árbol los resultados obtenidos la hojarasca y detritos fueron bajos respecto al promedio de la biomasa área arbórea que fue de 13.84 ton/ha. Un estudio realizado por Connolly y Corea (2007) en un área de pinus Oocarpa Schiede de seis años en Nicaragua manifiesta que la hojarasca reportó un valor máximo de 8.7 TC/ha, con un rango de 1.17 tC/ha a 8.7 tC/ha, promedio de 3.71 tC/ha.

Comparando los promedios del cultivo de café y del pinus en la hojarasca se observó que en el estudio realizado con pinus se obtuvo una mayor captura de carbono, no obstante en el estudio realizado por Connolly y Corea (2007) se descarta los detritos.

2.4. DETERMINACIÓN DE LA CAPTURA DE CARBONO TOTAL EN EL CULTIVO DE CAFÉ DE 2 AÑOS

En este cultivo, la desviación estándar y varianza muestran valores de 5.26 ton/ha y 4.94 ton/ha respectivamente, mientras que la muestra indica un valor de 10.64 ton/ha, mediante el coeficiente de variación se demuestra que la desviación respecto a la media es del 49.44%, es decir, que existe poca homogeneidad de dentro de los árboles del cultivo de café.

Gráfica 10. Secuestro de carbono total en el cultivo de 2 años



Fuente: Este trabajo

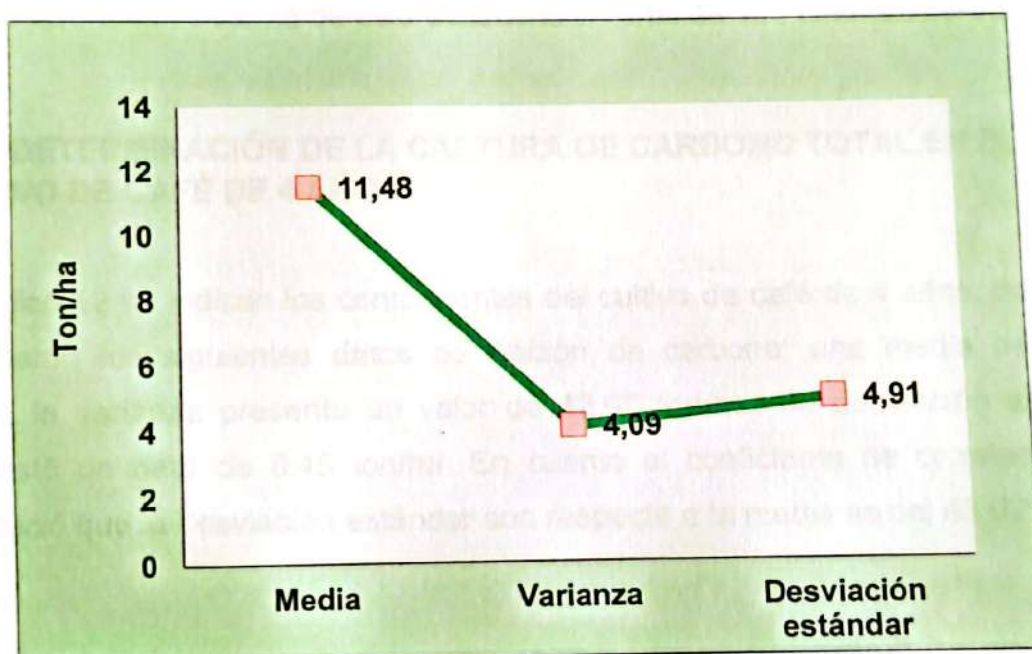
En la gráfica 10 se muestra el análisis estadístico de las variables (media, varianza y desviación estándar); a partir del cual se determina que la fijación de carbono fue alta. Ya que según un estudio realizado por Landeta (2009), sobre cuantificación de biomasa y carbono de Uyacali, Perú; afirma que la tasa de fijación está en función de la especie, el índice de sitio, el turno, etc.

En este sentido, se puede deducir que a medida que los árboles de café adquiere mayor edad, el carbono fijado será más alto; por lo que Medina et ál, 2004: citado por Jiménez (2012) menciona que los SAF con café pueden almacenar entre 5.5 y 19.9 Mg de carbono en su biomasa aérea.

2.5. DETERMINACIÓN DE LA CAPTURA DE CARBONO TOTAL EN EL CULTIVO DE CAFÉ DE 3 AÑOS

Respecto a la biomasa total en la gráfica 11 se ve representada la media, la desviación estándar y la varianza, estas muestran valores de 4.91ton/ha y 4.09 ton/ha respectivamente, mientras que la muestra indica un valor de 11.48 ton/ha, mediante el coeficiente de variación se demuestra que la desviación con respecto a la media es del 42.77%, es decir que se presenta poca homogeneidad de los individuos dentro del cultivo de café.

Gráfica 11. Secuestro de carbono total en el cultivo de 3 años



Fuente: Este trabajo

La grafica 11 muestra el análisis estadístico de las variables (media, varianza y desviación estándar); en donde se puede observar que la fijación de carbono en este cultivo fue alta. De acuerdo, con un estudio realizado por Sierra (2010), sobre captura de carbono en *saccharum officinarum* con otros factores ambientales para el cultivo de caña panelera en Cundinamarca, Boyaca y Santander, se afirma que los resultados de la variable de manejo del cultivo están estrechamente asociados

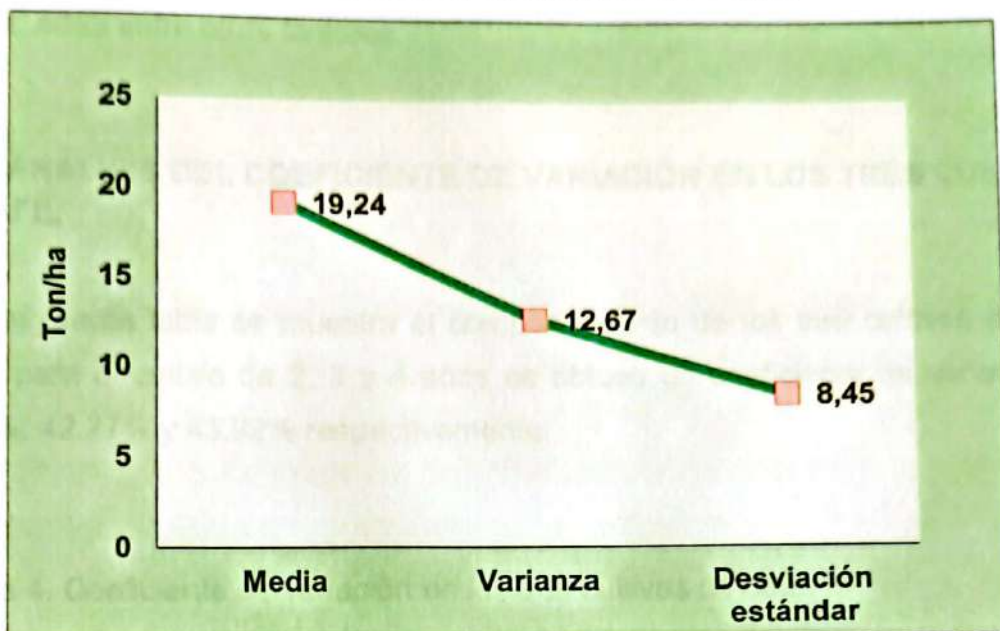
a la captura de carbono; tales factores corresponden al tipo de siembra, la cosecha y la fertilización; en el caso del primer factor, este influye en la densidad de plantas por unidad de área dentro del cultivo, lo cual podría influir en los rendimientos de biomasa por hectárea del mismo.

Dentro de las actividades de manejo que se realizan en el cultivo de 3 años, se utilizan plaguicidas y fertilizantes, de igual manera no existe una homogeneidad en cuanto al tamaño de los árboles debido a los procesos de resiembra, por lo que estos factores, pueden haber influido en la fijación de carbono. Es así, como una investigación sobre café y ciclo del carbono realizada por Isaza y Cornejo (2015), afirman que en un sistema de café almacenó un total de 195 t ha⁻¹ de carbono.

2.6. DETERMINACIÓN DE LA CAPTURA DE CARBONO TOTAL EN EL CULTIVO DE CAFÉ DE 4 AÑOS

La gráfica 12 se indican los componentes del cultivo de café de 4 años, donde se adquirieron los siguientes datos de fijación de carbono: una media de 19.24 ton/ha, la varianza presento un valor de 12.67 ton/ha, la desviación estándar manifestó un dato de 8.45 ton/ha. En cuanto al coeficiente de correlación, se estableció que la desviación estándar con respecto a la media es del 43.92%.

Gráfica 12. Secuestro de carbono total en el cultivo de 4 años



Fuente: Este trabajo

En las plantas de café (*Castillo*) de 4 años el secuestro de carbono se lleva a cabo con mayor resultado donde el promedio general de secuestro de carbono fue de 19.24 ton/ha, en comparación con otro estudio realizado en el Ecuador por Corral., et al. (2005) en un sistema agroforestal con café Arabigo y Cacao se determinó que el promedio de los cafetos tuvo mayor capacidad de almacenamiento de carbono en su biomasa; 4.12 t/ha, en comparación con las plantas de cacao en las que se registraron 1.8 t/ha. Estos valores representan una superioridad de los cafetales sobre los cacaotales de 128.9%, en cuanto a la capacidad de almacenamiento de carbono en la biomasa.

En la investigación desarrollada por Corral., et al. (2005) el promedio de captura de carbono fue de 4.12 t/ha, mientras que en el presente estudio el cultivo de 4 años supera este valor con un promedio de 19.24 ton/ha. Con los resultados obtenidos se podría decir que el cultivo de café variedad (*Castillo*) de 4 años es más rentable en la captura de CO₂, sin embargo estos resultados pueden variar

dependiendo de las condiciones del clima, nutrientes, enfermedades de las plantas, edad entre otros factores.

2.7. ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN EN LOS TRES CULTIVOS DE CAFÉ.

En la siguiente tabla se muestra el comportamiento de los tres cultivos de café, donde para el cultivo de 2, 3 y 4 años se obtuvo un coeficiente de variación de 49.44%, 42.77% y 43.92% respectivamente.

Cuadro 4. Coeficiente de variación en los tres cultivos de café.

Cultivos	Coeficiente de variación
2 años	49.44%
3 años	42.77%
4 años	43.92%

Fuente: Este trabajo

De acuerdo con la tabla anterior, se comprueba que el cultivo que obtuvo una mejor homogeneidad dentro de los individuos, fue el de tres años con un valor de 42.77%. Donde, se puede afirmar que los árboles de cultivo tienden a tener las mismas características como son altura, DAP, etc; estadísticamente significaría que los valores obtenidos para el cultivo no son tan dispersos, en comparación con el cultivo de 2 y 4 años.

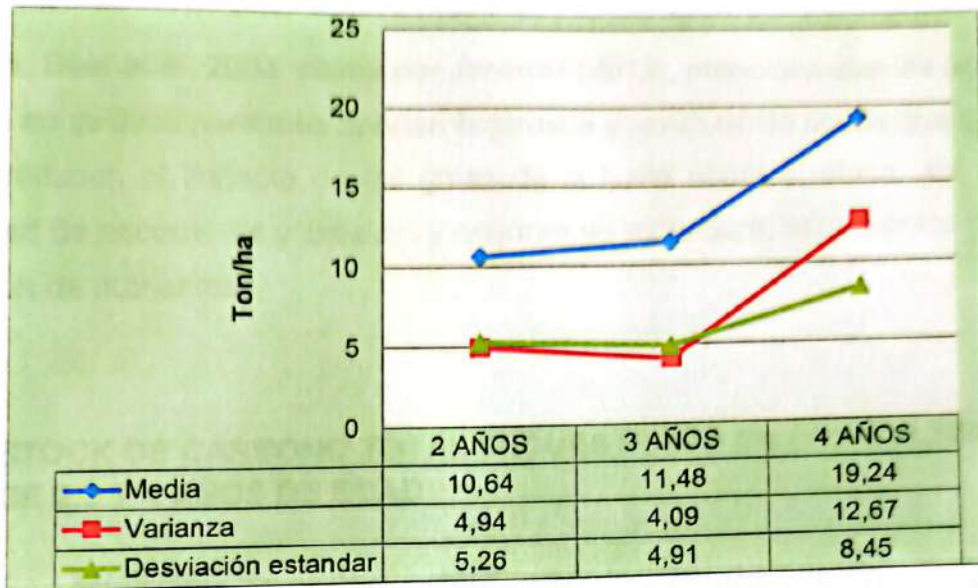
De igual manera, se observa que la diferencia entre el coeficiente de variación de los cultivos de 3 y 4 años, es de 1.15%; a partir de lo cual se puede inferir, que a medida que un cultivo de café adquiere mayor edad, los individuos tienden a ser

más homogéneos; y por ende sus valores no estarán tan dispersos estadísticamente.

2.8. CARBONO TOTAL SECUESTRADO EN LOS CULTIVOS DE CAFÉ DE 2,3 Y 4 AÑOS DE EDAD

En la gráfica 13 se muestra la consolidación de todos los componentes de los cultivos de café de 2, 3 y 4 años (ramas, tronco, hojarasca, detritos y raíces), con el fin de determinar el cultivo que mayor captura de carbono efectuó en época seca y de lluvia. A continuación se describen los valores obtenidos en la fijación de carbono en todas las plantaciones, donde la media fue mayor en el cultivo de 4 años con 19.24 ton/ha, en comparación con los cultivos de 2 y 3 años que obtuvieron una media de 10.64 ton/ha y 11.48 ton/ha respectivamente, en cuanto a la varianza en el cultivo de 4 años se presentó un valor de 12.67 ton/ha mientras que en el cultivo de 2 años la varianza fue de 4.94 ton/ha y en el de 3 años fue de 4.09 ton/ha. Respecto a la desviación estándar, el cultivo de 4 años fijó 8.45 ton/ha de carbono a diferencia del cultivo de 2 y 3 años que presentaron valores de 4.91 ton/ha y 5.26 ton/ha respectivamente.

Gráfica 13. Carbono total secuestrado en los cultivos de café de 2, 3 y 4 años de edad



Fuente: Este trabajo

De acuerdo, con los datos obtenidos se puede afirmar que la fijación de carbono tiende a ser más elevada a medida que los árboles adquieren mayor edad. Sin embargo Agudelo, Guinand 2009; citado por Landeta (2009), afirma que la captura de CO₂ es efectuada durante el desarrollo de los árboles solamente, luego con el pasar de los años, en el instante que los árboles han llegado a su madurez total, capturan únicamente pequeñas cantidades de CO₂ necesarias para su respiración y la de los suelos; de esta manera, no es de importancia cuanto carbono el árbol captura inmediatamente, sino cuanto carbono captura durante toda su vida.

En este sentido, se logró la cuantificación de la captura de carbono total en los cultivos de café de 2, 3 y 4 años, a partir de las cuales se puede deducir que este sistema agrícola puede convertirse en una alternativa de solución a los problemas ambientales. Debido a que según Melo y Monge 2008; citado por Jiménez (2012), indican que el cultivo de café es una leñosa perenne que puede ser significativa

para lo conservación del suelo, ya que dicho cultivo amarra el suelo y no usa quemas ni exposición del suelo frecuentes.

Además, Beer et ál. 2003: citado por Jiménez (2012), menciona que los árboles de sombra en cultivos perennes aportan hojarasca y residuos de podas que cubren el suelo, reducen el impacto de las gotas de la lluvia sobre el suelo, así como la velocidad de escorrentía y erosión, y mejoran su estructura, el contenido de N y la retención de nutrientes.

2.9. STOCK DE CARBONO TOTAL SECUESTRADO EN LOS CULTIVOS DE CAFÉ DE 2,3 Y 4 AÑOS DE EDAD

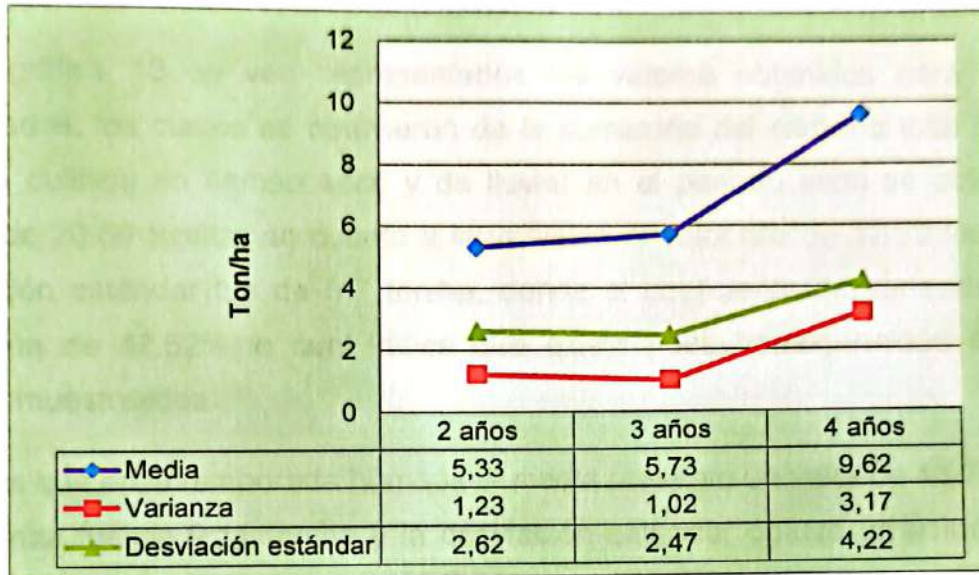
En la gráfica 13 se realizó una la consolidación de todos los componentes de los cultivos de café de 2, 3 y 4 años (ramas, tronco, hojarasca, detritos y raíces), con el propósito de establecer que cultivo de café capturaba mayor stock de carbono.

Respecto al stock de carbono presentado en los cultivos de café de diferentes edades se tiene que la media en el cultivo de 2 años es de 5,33 ton/ha, en el cultivo de 3 años la media es de 5.73 ton/ha, mientras que en el cultivo de 4 años obtuvo un valor más alto con 9.62 ton/ha. En cuanto a la varianza el cultivo de 2 años logró un stock de 1.23 ton/ha, el cultivo de 3 años adquirió un stock de 1.02 ton/ha en comparación con el cultivo de 4 años que alcanzó un stock de 3.17 ton/ha.

En relación al stock de carbono, la desviación estándar en el cultivo de 2 años fue de 2.62 ton/ha, en el cultivo de 3 años consiguió un valor de 1.02 ton/ha, siendo el cultivo de 4 años el que mayor stock de carbono capturo con 4.22 ton/ha. El coeficiente de variación presentado en el cultivo de 2 años es de 49.26%, en el cultivo de 3 años alcanzó un 43.02%, mientras que en el cultivo de 4 años se obtuvo un 43.91%; siendo el cultivo de 3 años quien presento mejor dispersión de

los valores y, por lo tanto hubo una buena homogeneidad entre los individuos, en comparación con los cultivos de 2 y 4 años.

Gráfica 14. Stock de carbono total en los cultivos de café de 2, 3 y 4 años



Fuente: Este trabajo

El stock de carbono alcanzó valores bastante representativos en el cultivo de 4 años de edad con una media de 9.62 ton/ha, lo cual indica que la plantación de 4 años fue la que más stock de carbono capturó. De acuerdo, con una investigación efectuada en Putumayo por Camacho et al (2013) se evidenció que la cantidad de stocks de carbono en Tn/ha encontradas en la especie forestal y agrícola (capirón y chontaduro) reportan respectivamente un total de 11.57 y 1.40 Tn/ha de stocks de carbono Tn/ha año de CO₂.

De igual manera, un estudio realizado en Lima por López (2015) indicó que el stock de carbono de la biomasa muerta sobre el suelo en detritos y hojarasca fue de 7.39 t C/ha.

Con base en los estudios se infiere que cultivos agrícolas como el café son capaces de secuestrar valores representativos, en cuanto al stock de carbono y

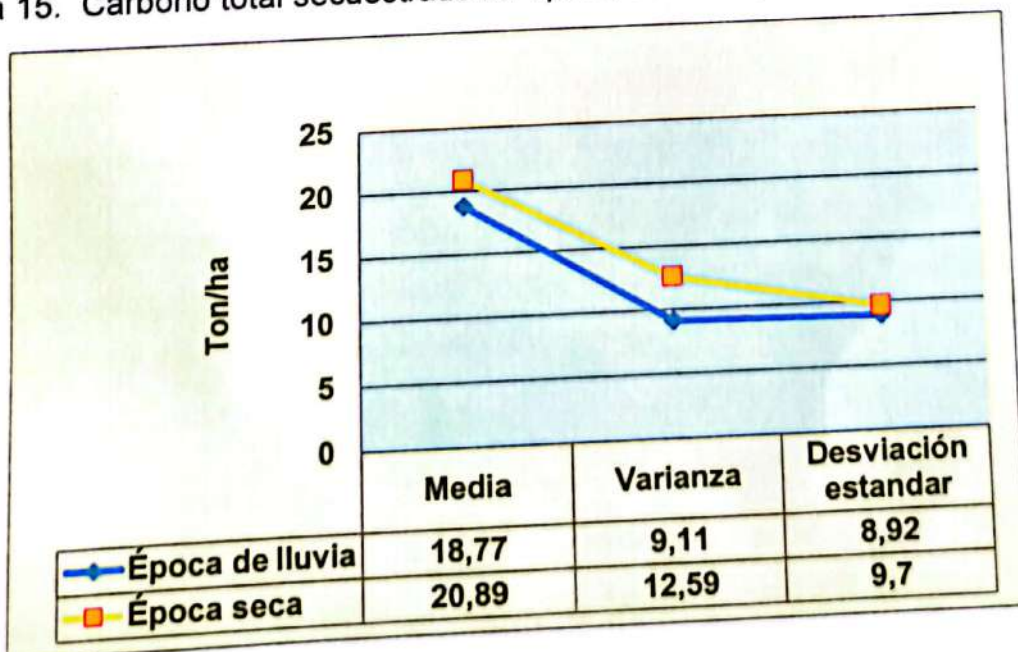
por lo tanto; estos cultivos se pueden convertir en una alternativa de minimización del CO₂ presente en la atmósfera.

2.10. CARBONO SECUESTRADO EN ÉPOCA DE LLUVIA Y SECA

En la gráfica 13 se ven representados los valores obtenidos para las dos temporadas, los cuales se obtuvieron de la sumatoria del carbono total fijado de los tres cultivos en tiempo seco y de lluvia; en el periodo seco se obtuvo una media de 20.89 ton/ha, en cuanto a la varianza el valor fue de 12.59 ton/ha y la desviación estándar fue de 9.7 ton/ha, donde el coeficiente de variación de los datos fue de 47.52% lo cual indica que existe poca homogeneidad entre los árboles muestreados.

Mientras que en la temporada húmeda la media presentó un valor de 18.77 ton/ha, la varianza fue de 9.11 ton/ha y la desviación estándar obtuvo un valor de 8.92 ton/ha, respecto al coeficiente de variación 46.43%, a partir de la cual se deduce que hubo poca homogeneidad entre los individuos del cultivo.

Gráfica 15. Carbono total secuestrado en época de lluvia y seca



Fuente: Este trabajo

Respecto, a la gráfica 13 se determina que no hubo variaciones significativas entre los valores; esto se debe a que las condiciones climáticas de la región son intermitentes y, por lo tanto, no existen estaciones bien definidas. Sin embargo, un estudio realizado por Taiz y Zeiger, 1998; Larrea 2007 describe que el efecto del incremento de CO₂ se hace mayor al aumentar la temperatura; por otra parte, la temperatura óptima de la fotosíntesis se eleva al incrementarse la concentración de CO₂.

Por otra parte Ordoñez y Masera, 2001; Pinos 2015, mencionan que la vegetación tiene la capacidad de asimilar el carbono e incorporarlo a su estructura, es decir, lo fija y lo mantiene almacenado por largos periodos, a través de la fotosíntesis. Es por esta razón que los bosques son importantes sumideros de carbono.

De acuerdo, a lo mencionado por los dos autores es claro ver como la temperatura tiene gran influencia en el secuestro de carbono, esto se vio evidenciado en el presente estudio, donde se fijó mayor carbono en la temporada seca.

3. CONCLUSIONES

El valor más alto de captura de carbono en la biomasa área arbórea la obtuvo el cultivo de 4 años con un valor de 13.84 ton/ha, a partir de lo cual se puede afirmar que la edad de los árboles influye en la fijación de carbono; puesto que los cultivos 2 y 3 años obtuvieron valores de 7.70 ton/ha y 8.47 ton/ha respectivamente.

Los cultivos de 2, 3 y 4 años presentaron la mayor fijación de carbono en su biomasa área arbórea donde la media fue de 7.70 ton/ha, 8.47 ton/ha y 13.84 ton/ha respectivamente.

En relación al carbono secuestrado en la biomasa radicular se alcanzó un valor de 4.14 ton/ha, siendo el cultivo de 4 años el que más CO₂ fijo, en comparación con el cultivo de 2 años que alcanzó un valor de 2.10 ton/ha.

La hojarasca y los detritos fueron los valores menos significativos de captura de carbono, siendo el cultivo de 4 años el que mayor CO₂ capturo con una media de 1.26 ton/ha, mientras que el cultivo de 2 años reporto una media de 0.84 ton/ha.

Existen diferencias significativas entre el cultivo de 2 y 4 años en cuanto a la captura total de carbono, para el cultivo de 2 años se fijaron 10.64 ton/ha, mientras que el cultivo de 4 años obtuvo un valor de 19.24 ton/ha.

Respecto a los datos obtenidos para el coeficiente de variación en los tres cultivo de café, se obtuvo una mejor dispersión de los individuos en el cultivo de 3 años con un valor de 42.77%, posteriormente le sigue el cultivo de 4 y 2 con 43.92% y 49.44% respectivamente.

Respecto al stock de carbono presentado en los cultivos de café de diferentes edades se demostró que la media en el cultivo de 2 años fue de 5,33 ton/ha, en el cultivo de 3 años la media es fue 5.73 ton/ha, mientras que en el cultivo de 4 años obtuvo un valor más alto con 9.62 ton/ha.

En cuanto a los muestreos realizados en época seca y de lluvia, la mayor captura de carbono se presentó en temporada seca con un valor de 20.89 ton/ha, mientras que en período de lluvia se obtuvo 18.77 ton/ha.

4. RECOMENDACIONES

Realizar investigaciones que permitan determinar si la utilización de productos químicos como los plaguicidas y fertilizantes, influye en gran medida en la captura de carbono en el cultivo de café.

Fortalecer el conocimiento en cuanto a la captura de carbono, ya que los sistemas agrícolas si se trabajan de manera sostenible, pueden al mismo tiempo asegurar la seguridad alimentaria y convertirse en una alternativa de solución a los problemas ambientales.

Promover la investigación en diferentes sistemas agrícolas, que permitan tener una mirada más objetiva; sobre el papel que juegan los cultivos en la minimización de los impactos causados por la emisión de gases contaminantes a la atmosfera.

Continuar con el estudio para evaluar el contenido de carbono secuestrado en un cultivo de café de 7 y 8 años, a fin de comparar los resultados obtenidos y estandarizar un valor estimado para la plantación de café.

Se recomienda evaluar diferentes plantaciones de que se cultivan en la región con el fin de determinar el comportamiento del secuestro de carbono.

La captura de CO₂ juega un papel significativo en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, es por esta razón que se deberían hacer más investigaciones para contribuir con la reducción del CO₂ causante del efecto invernadero.

El cultivo de café de variedad (*Castillo*) es un sistema de producción que tiene una buena capacidad de fijación de carbono y; por lo tanto, se puede convertir en una alternativa para la mitigación de los problemas ambientales, como lo son las emisiones de gases de efecto invernadero.

BIBLIOGRAFIA

BARRIAGA. (2012). Tesis sobre secuestro de carbono en bosques esclerófilos de la Reserva Nacional Robleira del Cobre de Lochas. Chile. p.34.

CALDERÓN Y SOLIS. (2012). Cuantificación de carbono almacenado en tres fincas en tres estados de desarrollo del bosque de pino (*Pinus oocarpa*) en Dipilto, Nueva Segovia y Nicaragua. p.14.

CAMACHO BRAVO, Jairo., MUÑOZ, Amilkar., et al. ESTIMACIÓN DE LA CAPTURA DE CARBONO EN EL SISTEMA AGROFORESTAL CON LA ESPECIE CAPIRON (*Calycophyllum spruceanum*), EN LA VEREDA LA PRIMAVERA, MUNICIPIO DE PUERTO GUZMAN, PUTUMAYO. Putumayo. Instituto Tecnológico del Putumayo. 2013. 54 p.

CÁRDENAS DIAZ, Juan y PARDO PINZÓN, Juan. CARACTERIZACIÓN DE LAS ETAPAS DE FERMENTACIÓN Y SECADO DEL CAFÉ LA PRIMAVERA. ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO. PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL. BOGOTÁ. 2014. p 14.

CARVAJAL, Micaela. INVESTIGACIÓN SOBRE LA ABSORCIÓN DE CO₂ POR LOS CULTIVOS MÁS REPRESENTATIVOS DE LA REGIÓN DE MURCIA. Departamento de Nutrición Vegetal. CEBAS-Consejo Superior de Investigaciones Científicas. (Murcia), SPAIN. Sf. 12 p.

COMPONENTE RURAL PARTE III. [Recuperado el 24 de enero de 2016]. Plan Básico de Ordenamiento Territorial. <Componente Rural>. MUNICIPIO MOCOA. Disponible en:
[http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/rural%20-%20mocoa%20\(58%20pag%20-%201661%20kb\).pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/rural%20-%20mocoa%20(58%20pag%20-%201661%20kb).pdf)

BIBLIOGRAFIA

BARRIAGA. (2012). Tesis sobre secuestro de carbono en bosques esclerófilos de la Reserva Nacional Robleira del Cobre de Lochas. Chile. p.34.

CALDERÓN Y SOLIS. (2012). Cuantificación de carbono almacenado en tres fincas en tres estados de desarrollo del bosque de pino (*Pinus oocarpa*) en Dipilto, Nueva Segovia y Nicaragua. p.14.

CAMACHO BRAVO, Jairo., MUÑOZ, Amilkar., et al. ESTIMACIÓN DE LA CAPTURA DE CARBONO EN EL SISTEMA AGROFORESTAL CON LA ESPECIE CAPIRON (*Calycophyllum spruceanum*), EN LA VEREDA LA PRIMAVERA, MUNICIPIO DE PUERTO GUZMAN, PUTUMAYO. Putumayo. Instituto Tecnológico del Putumayo. 2013. 54 p.

CÁRDENAS DIAZ, Juan y PARDO PINZÓN, Juan. CARACTERIZACIÓN DE LAS ETAPAS DE FERMENTACIÓN Y SECADO DEL CAFÉ LA PRIMAVERA. ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO. PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL. BOGOTÁ. 2014. p 14.

CARVAJAL, Micaela. INVESTIGACIÓN SOBRE LA ABSORCIÓN DE CO₂ POR LOS CULTIVOS MÁS REPRESENTATIVOS DE LA REGIÓN DE MURCIA. Departamento de Nutrición Vegetal. CEBAS-Consejo Superior de Investigaciones Científicas. (Murcia), SPAIN. Sf. 12 p.

COMPONENTE RURAL PARTE III. [Recuperado el 24 de enero de 2016]. Plan Básico de Ordenamiento Territorial. <Componente Rural>. MUNICIPIO MOCOJA. Disponible en:
[http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/rural%20-%20mocoja%20\(58%20pag%20-%201661%20kb\).pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/rural%20-%20mocoja%20(58%20pag%20-%201661%20kb).pdf)

CONCEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL 3242 (CONPES)
DE AGOSTO 25 DE 2003.

CONNOLLY WILSON, Ronda Yuri y COREA SIU, Carlos Abel. Cuantificación de la captura y almacenamiento de carbono en sistema agroforestal y forestal en seis sitios de cuatro municipios de Nicaragua. Universidad Nacional Agraria Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente. Managua, Nicaragua. 2007. 63 p.

CONSTITUCION POLITICA DE COLOMBIA 1991.

CORRAL CASTILLO, Rubén., et al. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con café Arabigo y Cacao, en dos zonas agroecológicas del litoral ecuatoriano. X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo Ecuador. 2005. p. 7.

CORREA SINCHE, Jeferson Fabricio. "ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN BOSQUES NATURALES EN LA MICROCUENCA EL PADMI, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE". UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA. ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES. CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL. TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO FORESTAL. LOJA – ECUADOR. 2015. p 25.

CORTINA GUERRERO, Hernando A., et al. VARIEDAD CASTILLO® Preguntas frecuentes. Gerencia Técnica .Programa de Investigación Científica. Fondo Nacional del Café. 2012. 5 p.

DECRETO 895 DEL 28 DE MARZO 2008.

DECRETO 948 DEL 5 DE JUNIO DE 1995 5 DE JUNIO.

DENNIS GIGNAC, Robert Lessard y Rochette, Rochette. (sf). EL CICLO DEL CARBONO: Midiendo el flujo del CO₂ del suelo.p.2. [Descargado enero 25 de 2016].

SAMPIERI, Hernández., COLLADO, Carlos Fernández ., BAPTISTA, Pilar. Diseño de la investigación Tipos de Investigación. Edición 6. Editor McGraw-Hill Education, 2014. ISBN 1456223968, 9781456223960. 2014. p 30.

DOBBS B. (2005). Tesis sobre construcción de modelos de estimación de biomasa y área foliar en diez especies arbóreas urbanas en la ciudad de Santiago. Chile. p.11.

ELIAS DE MELO, Virginio y Abarca, Filho. Cafetales para servicios ecosistémicos, con énfasis en el potencial de sumideros de carbono. Costa Rica. 2008. p. 28.

ESPADA, J. Los árboles frutales como sumideros de CO₂ desempeñan un importante servicio ambiental. Dirección General de Alimentación y Fomento Agroalimentario Servicio de Recursos Agrícolas Núm.248. Zaragoza. 2013. p.11.

ESPINOSA, W. Et al. Almacén de carbono en sistemas agroforestales con café. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 18(1): 57-70. México.2012.p. 68.

ETCHEVERS, A. et al. Los stocks de carbono en diferentes compartimientos de la parte aérea y subterráneas en sistemas forestales y agrícolas de la ladera de México, 2001. p. 14.

EVALUACIÓN AGROPECUARIA DEL PUTUMAYO INFORME PRELIMINAR DE COYUNTURA – 2011. República de Colombia Departamento del Putumayo

Secretaria de Desarrollo Agropecuario. Instituciones del Sector Agropecuario del Departamento del Putumayo. Mocoa Enero de 2012. p 49.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (ONU). (2002). Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Roma. 52, p.83.

FAO. (2002). Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Roma. p.32.

FUENTES. Et al. (2013). Desarrollo económico y adaptación al cambio climático. Efectos del cambio climático sobre la agricultura Bogotá.p.45

GRAMAJO, ARREAGA y Estuardo, William. Almacenamiento del carbono en bosques con manejo forestal sostenible en la Reserva de Biosfera Maya, Petén, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Guatemala. (sf).

GUTIÉRREZ Y LOPERA. (2001). Metodología para la cuantificación de existencias y flujo en plantaciones forestales. Medellín. Colombia. p.1.

HERNÁNDEZ. Et al. (2001). El efecto invernadero. p.1. [Descargado Julio 17 de 2016]. Disponible en: < <http://www.aie.org.ar/downloads/invernadero> >pdf

HONORIO, Eurídice y BAKER, Timothy. Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana. Universidad de Leeds. Lima. 2010. 8 p.

ISAZA RAMÍREZ, Carlos Hernando. Análisis de oportunidades para la gestión eficiente del carbono en un sistema de producción de café en el departamento de

Caldas. Trabajo de grado para optar al título de Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Universidad de Manizales. Manizales. 2014. p.14.

ISAZA Y CORNEJO. Café y el ciclo del carbón. Cambio climático y carbono en el café. Revista solidaridadnet. 2015. p.21.

JIMÉNEZ NEHRING, Nolvía Gabriela. Producción de madera y almacenamiento de carbono en cafetales con cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) en Honduras. Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado como requisito para optar al grado de Magister Scientiae en Agroforestería Tropical. CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA. ESCUELA DE POSGRADO. Turrialba, Costa Rica. 2012. 27 p.

JIMÉNEZ, A. Et al. Secuestro y Distribución de Carbono Orgánico del Suelo Bajo Diferentes Sistemas de Manejo de Pasturas. (Florida). 1, p.3.

KLEINN, ET AL. (2001). Estudio Piloto para el Inventario Forestal Nacional en Costa Rica. Departamento de Montes Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. p.5.

LANDETA GONZALES, Aracely Dalia. Producción de biomasa y fijación de carbono en plantaciones de teca (*Tectona grandis* Linn F.) en la Espol Campus. Tesis de grado para optar el título de ingeniería agropecuaria. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción. Guayaquil- Ecuador. 2009. p 68.

LARREA AGUINAGA, Giuliana Cecilia. DETERMINACIÓN DE LAS RESERVAS DE CARBONO EN LA BIOMASA AÉREA DE COMBINACIONES AGROFORESTALES DE *THEOBROMA CACAO* L. & DETERMINACIÓN DE LA

ECUACIÓN ALOMÉTRICA PARA EL CACAO. Tesis para optar el título de Ingeniera Ambiental. Universidad Nacional Agraria la Molina. Facultad de Ciencias. Departamento de Ingeniería Ambiental. Lima Perú. 2.007. p 33.

LEY 164 DE 1994 DEL 27 DE OCTUBRE.

LÓPEZ VALENZUELA, Germán Carlos. VALORACIÓN ECONÓMICA DEL SERVICIO AMBIENTAL DE CAPTURA DE CARBONO EN EL FUNDO VIOLETA (DISTRITO DE TAHUAMANU – MADRE DE DIOS). Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Letras y Ciencias Humanas. Tesis para optar el título de Licenciado en Geografía y Medio Ambiente. Lima, 05 de marzo de 2015. 15 p.

MARTÍNEZ, H.ET AL. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. 1, p.2. [Descargado Julio 17 de 2016]. Disponible en:<
<http://mingaonline.uach.cl/pdf/rcsuelo/v8n1/art06>>pdf

MOSQUERA. Et al. (2007). Cuantificación de caída de hojarasca como medida de la productividad primaria neta en un bosque fluvial tropical en Salero, Choco. Colombia. p.5.

MOTA, C. Et al. Investigación sobre la absorción de CO₂ por los cultivos más representativos. Consejo superior de investigaciones científicas. Espinardo. (Murcia). 8, p.43.

MUHAMMAD, I. Et al. (2007). Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. p.2

MUÑOZ, B., Y SACRISTÁN, S. Et a. Fijación de carbono en el suelo en agricultura de conservación. Instituto tecnológico Agrario de Castilla y León. 6, p.11.

ORELLANA DÍAZ. (2012). Tesis sobre estimación de carbono almacenado en la zona del núcleo del parque nacional Montaña de Celaque (PNMC). Honduras. p.68.

NICK TYLER. (2013). Caracterización de la contaminación atmosférica en Colombia. Universidad de los Andes. Colombia. p.5

ORTIZ GUERRERO, Ángela Milena y RIASCOS CHALAPUD, Lorena Dayana. ALMACENAMIENTO Y FIJACION DE CARBONO DEL SISTEMA AGROFORESTAL CACAO *Theobroma cacao* L Y LAUREL *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavón) Oken EN LA RESERVA INDÍGENA DE TALAMANCA, COSTA RICA. Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. Programa de Ingeniería Agroforestal. San Juan de Pasto. 2006. 74 p.

PARDOS, José Alberto. Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria Ministerio de Ciencia e Innovación. Madrid. 2010. 83 p.

PÉREZ. Et al. (2005). Potencial de Plantaciones Forestales y Fijación de Carbono en Nicaragua. 1ra Edición. Managua, Nicaragua. p.43

PINOS FLORES, Juan Andrés. "BIOMASA FOLIAR, DESFRONDE Y DESCOMPOSICIÓN DE LA HOJARASCA EN LOS RODALES DE *Polylepis reticulata* DEL PARQUE NACIONAL CAJAS". Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Ambiental. Universidad de Cuenca. Facultad de Ciencias Químicas. Carrera de Ingeniería Ambiental. Cuenca, febrero de 2015. 75 p.

PLAN BÁSICO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL <Componente Rural>. Componente Rural Parte III. MUNICIPIO MOCOCHA. (2000). Putumayo. 24 p.

PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO CUENCA DEL RIO PEPINO –Contrato 075 de 2003. Fase Diagnostica. Sistema Biofisico. 2003. 10 p.

PRIETO PRIETO, Johan Mauricio. ESTUDIO Y ESTRUCTURA COMPARATIVA DE COSTOS ENTRE LAS VARIEDADES CATURRA Y CASTILLO EN CUATRO FINCAS DEL MUNICIPIO DE LA VEGA CUNDIMARCA. Trabajo de grado para optar al título de administrador de empresas agropecuarias .Universidad de la Salle. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Programa de Administración de Empresas Agropecuarias. BOGOTA. D.C. 2012. 28 p.

Programada de Enseñanza para el desarrollo y la conservación escuela de posgrado. Turrialba, Costa Rica. 2002. p 20.Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. (2002).Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Roma. 52, p.83.

PROTOCOLO DE KYOTO DE LA CONVENCION MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMATICO. 1998. Aprobada en Nueva York el 9 de mayo de 1992.

PULGARÍN, Jaime, Arcila., Farfán Valencia, Fernando., et al. Sistemas de Producción de Café en Colombia. Crecimiento y desarrollo de la planta de café. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. ISBN 978 958 98193 02. Editorial Blanecolor Ltda. Cenicafé. 2007.

ROBERT, Michel. CAPTURA DE CARBONO EN LOS SUELOS PARA UN MEJOR MANEJO DE LA TIERRA. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. Institut national de recherche agronomique París, Francia. Roma, 2002. 38 p.

RODRÍGUEZ LLERENA, Marco Vinicio y CARGUA CATAGÑA, Franklin Enrique. ELABORACIÓN DE UN INVENTARIO FORESTAL MULTIPROPÓSITO CON ÉNFASIS EN EL CONTENIDO DE CARBONO DE LAS DIFERENTES CLASES DE USO DE TIERRA, PARROQUIA ACHUPALLAS, CANTÓN ALAUSÍ, PROVINCIA DE CHIMBORAZO. Presentada como requisito para obtener el título de ingeniero forestal. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Recursos Naturales. Escuela de Ingeniería Forestal. Riobamba-Ecuador. 2013. p 43.

RÜGNITZ TITO, Marcos., et al. Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales -- 1. ed. -- Lima, Perú.: Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) / Consórcio Iniciativa Amazônica (IA). 2009. 44 p.OTÁ D.C. 2014. 9 p.

SCHLEGEL, B. (2001). Estimación de la biomasa y carbono en bosques del tipo forestal Siempreverde. (Chile). 1, p.13.

Secretaria de medio ambiente y recursos forestales. Introducción a los servicios ambientales Primera edición, 2003. México. 2004. p.11.

SIERRA D. (2010). Relación de la captura de carbono en *Saccharum officinarum* con otros factores ambientales para el cultivo de caña panelera. Cundinamarca, Boyacá y Santander. p.69.

SILVA, L. Fijación de dióxido de carbono por parte de los árboles urbanos propuesta para un programa de captura para Bogotá. D.C. 5, p.12.

VAN GINKEL. Et al. (1999). Seminario el CO2 en el calentamiento global. Calentamiento climático. Colombia. P.4.

ZAMORA COLLAZO, Juan Carlos. ESTIMACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO EN BIOMASA AÉREA EN EL BOSQUE DE PINO DEL EJIDO "LA MAJADA" MUNICIPIO DE PERIBAN DE RAMOS, MICHOACÁN. UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO FACULTAD DE AGROBIOLOGÍA. Tesis como requisito preliminar para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. 2003. 6 p.

ANEXO

ANEXO

Anexo A. Inventario forestal del cultivo de café variedad Castillo de diferentes edades (2,3 y 4 años)

	INVIERNO			VERANO		
	Número	Altura (m)	DAP (cm)	Número	Altura (m)	DAP (cm)
2 AÑOS	1	1,68	2,0	1	1,35	1,7
	2	1,93	1,0	2	1,50	2,5
	3	1,57	1,1	3	1,51	1,4
	4	1,52	1,4	4	1,30	1,5
	5	1,36	1,1	5	1,55	1,6
	6	1,43	1,2	6	1,26	1,3
	7	1,41	1,3	7	1,70	2,0
	8	1,44	1,4	8	1,50	1,9
	9	1,45	1,0	9	0,55	1,8
	10	1,40	1,2	10	1,60	1,7
3 AÑOS	1	1,45	1,5	1	1,95	1,1
	2	1,60	1,0	2	1,65	2,0
	3	1,54	1,2	3	1,65	1,2
	4	1,75	1,5	4	2,20	1,9
	5	1,70	1,1	5	1,60	1,9
	6	1,60	1,6	6	2,15	2,0
	7	2,25	1,4	7	2,70	2,2
	8	1,80	1,4	8	1,80	1,6
	9	1,85	1,2	9	1,65	1,5
	10	1,75	1,6	10	1,85	1,4
4 AÑOS	1	1,15	1,4	1	2,20	1,8
	2	1,40	1,8	2	2,40	1,7
	3	1,45	1,2	3	2,30	1,3
	4	1,65	2,9	4	2,10	1,6
	5	1,25	1,7	5	2,40	1,5
	6	1,50	1,9	6	2,30	2,1
	7	1,47	1,9	7	2,52	1,5
	8	1,50	2,1	8	2,50	2,1
	9	1,50	2,6	9	2,60	1,5
	10	1,30	2,1	10	3,10	1,8

Fuente: Este trabajo