



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-
NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú.](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/)

Vea una copia de esta licencia en
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



Estimación de la cantidad de carbono almacenado en un agroecosistema de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el sector Shupishiña - San Martín

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo

AUTOR:

Emiliano Jiménez Herrera

ASESOR:

Ing. Marvin Barrera Lozano

Tarapoto – Perú

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



Estimación de la cantidad de carbono almacenado en un agroecosistema de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el sector Shupishiña - San Martín

AUTOR:

Emiliano Jiménez Herrera

Sustentada y aprobada el 31 de enero del 2019, ante el honorable jurado

.....
Ing. Dr. Jaime Walter Alvarado Ramírez

Presidente

.....
Ing. M.Sc. Cesar Enrique Chappa Santa María

Secretario

.....
Ing. M. Sc. Elías Torres Flores

Miembro

.....
Ing. Marvin Barrera Lozano

Asesor

Declaratoria de Autenticidad

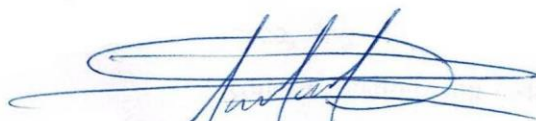
Emiliano Jiménez Herrera, egresado de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Escuela Profesional de AGRONOMÍA, de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con DNI N° 45745873, con la tesis titulada: **Estimación de la cantidad de carbono almacenado en un agroecosistema de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el sector Shupishiña - San Martín**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, la tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente.
3. La tesis no ha sido auto plagiada; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presenten en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, como el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), **falsificación** (al presentar la información e ideas de otras personas de forma falsa), entre otros, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndonos a la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 31 de enero del 2019



Emiliano Jiménez Herrera

DNI N° 45745873



Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres: <u>EMILIANO JIMÉNEZ HERRERA</u>	
Código de alumno : <u>081159</u>	Teléfono:
Correo electrónico : <u>emilianojimenezherrera@gmail.com</u>	DNI: <u>45745873</u>

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de: <u>CIENCIAS AGRARIAS</u>
Escuela Profesional de: <u>AGRONOMIA</u>

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	<input checked="" type="checkbox"/>	Trabajo de investigación	<input type="checkbox"/>
Trabajo de suficiencia profesional	<input type="checkbox"/>		

4. Datos de trabajo de investigación

Título: <u>ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE CARBONO ALMACENADO EN UN AGROECOSISTEMA DE CACAO (<u>Theobroma cacao</u> L.) EN EL SECTOR SHUPISHIÑA - SAN MARTÍN.</u>
Año de publicación: <u>2019</u>

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	<input checked="" type="checkbox"/>	Embargo	<input type="checkbox"/>
Acceso restringido **	<input type="checkbox"/>		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia No Exclusiva, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indiquen el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el Título Profesional o Grado Académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el Inciso 12.2, del Artículo 12° del Reglamento Nacional de Trabajos de Investigaciones para optar Grados Académicos y Títulos Profesionales –RENATI “**Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA**”.



Firma del Autor

8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM-T.

Fecha de recepción del documento:

07, 10, 2019



Firma del Responsable de Repositorio
Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso
Abierto de la UNSM-T.

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

****Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

Dedicatoria

A Dios por darme la vida, el que me ha dado fortalezas, para seguir adelante. Este proyecto está dedicado a mi madre, Carmen A, Herrera Abad pilar fundamental en mi vida. Que ha sabido formarme con buenos hábitos, valores, consejos.

A mi padre Nicanor Jiménez Jiménez, por sus consejos, apoyo.

A mis hermanos que siempre me ayudaron José E, Rosa M, Elsa, Moisés y Rolando.

A mi esposa Esther Pérez Lucano, compañera inseparable en esta vida

A mi hijo es el motivo, para superarme cada día más, y darle lo mejor de mí.

A mis sobrinos, Luis Ángel Mendoza Jiménez, Jesús Manuel Rondan Jiménez, Christian André Rondan Jiménez, Gabriela Victoria Jiménez Sousa, Xiomara Jiménez Cruz.

A mis cuñado Oscar Rondan Tovar, Luis Mendoza Casique, Nerida Amasifuen Tuanama, Sheyla Sousa Salazar, Pamela Reiteria Pezo

A mi amigo, Ing. Marvin Barrera Lozano, Ing. Roger Cabrera Carranza, por su apoyo. Ing. Kerlin Armas Pisco, Ing. Tatiana Montalván Pisco, Ing. Mary Luz Rojas Cevallos, Ing. María Emilia Ruiz Sánchez, Dr. Agustín Cerna Mendoza, Dr. Juan Carlos Guerrero Abad.

Agradecimiento

A la Universidad Estatal UNSM-T, como entidad de educación superior nos da la oportunidad de formarnos como profesionales creando en nosotros ese espíritu de superación por medio del aprendizaje.

A mis docentes, quienes se han esforzado por ayudarme a llegar al punto en el que me encuentro.

A la promoción de ingreso 2008 II, de la UNSM-T, de la carrera profesional de agronomía.

Índice general

	Pág.
Resumen	xi
Abstract	xii
Introducción	1
CAPÍTULO I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
1.1. Fundamento teórico científico	3
1.2. Antecedentes	12
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS	18
2.1. Tipo y nivel de investigación	18
2.2. Diseño de investigación	18
2.3. Población y muestra	18
2.4. Técnica e instrumento de recolección de datos	19
2.5. Metodología de campo	20
2.6. Técnica de procesamiento y análisis de datos	28
CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
3.1. Contenido de C en t.ha ⁻¹ en el ecosistema	30
3.2. Biomasa aérea en kg.ha ⁻¹ en el ecosistema	32
3.3. Contenido de C en el suelo en t.ha ⁻¹	35
CONCLUSIONES	38
RECOMENDACIONES	39
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
ANEXOS	48

Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1. Tratamientos en estudio para determinar el contenido de C en $t.ha^{-1}$ en el agroecosistema	28
Tabla 2. Tratamientos en estudio para determinar la biomasa aérea en $kg.ha^{-1}$ en el agroecosistema	29
Tabla 3. Tratamientos en estudio para determinar la cantidad de carbono en $kg.ha^{-1}$ presente en el suelo de acuerdo a la profundidad del suelo	29
Tabla 4. Contenido de C en $t.ha^{-1}$ en el agroecosistema	30
Tabla 5. Análisis de la Varianza para la biomasa aérea en $kg.ha^{-1}$	32
Tabla 6. Análisis de la Varianza para el contenido de C en el suelo en $t.ha^{-1}$	35

Índice de figuras

	Pág.
Figura 1. Diseño de la ubicación de la parcela de muestreo del cacaotal seleccionado (Fuente: Protocolo investigación CATIE)	20
Figura 2. Diseño de la parcela de muestreo del cacaotal (Fuente: Protocolo investigación CATIE).....	20
Figura 3. Realizando la medición Diámetro altura de pecho (DAP)	21
Figura 4. Colección de muestras Herbácea y arbustivas.....	22
Figura 5. Ubicación de la toma de las submuestras de hojarasca 0.5 m x 0.5 m en las parcelas de muestreo.....	23
Figura 6. Recojo de biomasa de hojarasca en el cuadrante de 0.5 m x 0.5m	23
Figura 7. Muestreo de suelos y determinación de la densidad aparente	24
Figura 8. Extracción de la muestra para la determinar carbono orgánico del suelo	25
Figura 9. Prueba de Rangos múltiples de Duncan (Alfa=0.05) para promedios del C en t.ha ⁻¹ por tratamiento	30
Figura 10. Prueba de Rangos múltiples de Duncan (Alfa=0.05) para promedios de la biomasa aérea en kg.ha ⁻¹	33
Figura 11. Prueba de Rangos múltiples de Duncan (Alfa=0.05) para promedios del contenido de C en t.ha ⁻¹ en tres profundidades del suelo	35

Resumen

En las últimas dos décadas, la humanidad ha intensificado su interés sobre el efecto invernadero provocado por las emisiones de CO₂. Es conocido que los bosques son muy importantes en servicios ambientales, entre ellos el almacenamiento y la captura de CO₂. Sin embargo, existen agroecosistemas que tienen la misma función ambiental que muchos de los bosques manejados, como por ejemplo un agroecosistema de cacao (*Theobroma cacao* L.), que tiene potencial de ser incorporado en servicios ecosistémicos. En el presente trabajo de investigación se determinó el potencial que tiene un agroecosistema de cacao, ubicado en el sector Shupishiña - Morales, provincia y región San Martín, para el almacenamiento y captura de carbono orgánico, mediante la estimación de la cantidad de carbono orgánico en todos los componentes del agroecosistema (cultivo de cacao, otras especies arbóreas, hojarasca, herbáceas y el suelo), empleando la metodología propuesta por el ICRAF, y aplicando un Diseño Completamente al Azar; verificando que el contenido de carbono orgánico presente en el suelo es el que destaca con 15.65 t.ha⁻¹ (61.34%), encontrando una mayor acumulación de carbono orgánico a una profundidad de 20-30 cm; en el cultivo de cacao 4.34 t.ha⁻¹ (17.01%), en otras especies arbóreas 3.30 t.ha⁻¹ (12.94 %), en la hojarasca 2.16 t.ha⁻¹ (8.47%) y en la biomasa herbácea se encontró 0.06 t.ha⁻¹ (0.23%) de carbono orgánico, haciendo un total de 25.51 t.ha⁻¹ de carbono orgánico en el agroecosistema evaluado.

Palabras clave: cambio climático, biomasa, cacao, carbono

Abstract

In the last two decades, humanity has intensified its interest in the greenhouse effect caused by CO₂ emissions. It is known that forests are very important in environmental services, including the storage and capture of CO₂. However, there are agroecosystems that have the same environmental function as many of the managed forests, such as a cocoa agroecosystem (*Theobroma cacao* L.), which has potential to be incorporated into ecosystem services. In the following research work, the potential of a cocoa agroecosystem, located in the Shupishiña - Morales sector, province and San Martín region, was determined for the storage and capture of organic carbon, by estimating the amount of organic carbon in all the components of the agroecosystem (cocoa cultivation, other tree species, litter, herbaceous and soil), using the methodology proposed by the ICRAF, and applying a Completely Random Design; verifying that the content of organic carbon present in the soil is the one that stands out with 15.65 t.ha⁻¹ (61.34%), finding a greater accumulation of organic carbon at a depth of 20-30 cm; in the cultivation of cocoa 4.34 t.ha⁻¹ (17.01%), in other tree species 3.30 t.ha⁻¹ (12.94%), in the litter 2.16 t.ha⁻¹ (8.47%) and in the herbaceous biomass found 0.06 t.ha⁻¹ (0.23%) of organic carbon, making a total of 25.51 t.ha⁻¹ of organic carbon in the evaluated agroecosystem.

Keywords: climate change, biomass, cocoa, organic carbon.



Introducción

El cambio climático se ha convertido en una de las amenazas más preocupantes para el ambiente global, debido al gran impacto negativo que está causando en la salud humana, la seguridad alimentaria, la economía mundial, los recursos naturales y la infraestructura física (Concha *et al.*, 2007). Se estima que el CO₂ es el responsable del 71.5 % del efecto invernadero (Aguirre *et al.*, 2006). Según cifras reportadas por el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático, se estima que la emisión de carbono por deforestación es de 1.6 billones de toneladas por año (1 t C = 3.67 t CO₂) (Rojas *et al.*, 2009).

El secuestro de carbono por plantaciones forestales ha sido propuesto como una medida positiva en el balance de los niveles atmosféricos de CO₂ (Camps y Pinto, 2006). A partir del Protocolo de Kioto, se establecieron compromisos vinculantes de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero por parte de los países industrializados, empleando ciertos mecanismos a través de los cuales se podrían incentivar las plantaciones agroforestales y forestales en busca de captura de carbono, como el Mecanismo de Desarrollo Limpio (Consejo Nacional del Ambiente, 2001).

Los cacaotales, además de ofrecer ventajas comparativas en relación con otros usos del suelo, constituyen uno de los más importantes sistemas productivos en las fincas, ya que se cultiva, juntamente con otras especies vegetales, sobre todo, café, plátano, frutales y maderables, los cuales al mismo tiempo producen sombra y permiten al agricultor tener otras alternativas de ingresos (Martínez *et al.*, 2005). Estos sistemas también pueden contribuir en la conservación de biodiversidad y, últimamente, por su función como sumideros de carbono (Beer *et al.*, 2003).

En la región San Martín, existen pocos estudios de cuantificación del contenido de carbono de agro ecosistemas de cacao, existiendo más estudios sobre el particular en sistemas agroforestales. Alegre *et al.* (2002), indica que los sistemas de café-guaba a los cuatro años del establecimiento y los sistemas de cacao con especies forestales de 15 años acumularon 19 t.C ha⁻¹ y 47 t.C ha⁻¹, respectivamente.

En la zona de la cuenca baja de la quebrada Shupishiña, ubicada en la jurisdicción del distrito de Morales, región San Martín, Perú, existen diferentes usos de la tierra dedicados a la producción de arroz, plátano, cítricos, cacao y cultivos de pan llevar (básicos). Entre ellos se destacan los AES - Cacao, dado que además de producir cacao generan otros

bienes como madera, frutas, medicinas, fibra y proveen servicios ambientales como la captura de carbono y la conservación de la biodiversidad (Somarriba y Harvey, 2003).

El presente estudio responde a la hipótesis planteada; el carbono almacenado en la biomasa aérea en un agroecosistema de cacao (*Theobroma cacao* L.) es igual en todos sus componentes (cultivo principal, especies arbóreas, hojarasca, herbáceas, suelo) en el sector Shupishiña, distrito de Morales, provincia y región de San Martín.

El objetivo general de la investigación; fue estimar la cantidad de carbono almacenado en un agroecosistema de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el sector Shupishiña - Morales, provincia y región San Martín.

Y los objetivos específicos:

Estimar la cantidad de carbono almacenado en biomasa aérea, herbáceas y hojarasca en un agroecosistema de cacao (*Theobroma cacao* L.), así como estimar la cantidad de carbono almacenado en el suelo hasta una profundidad de 30 cm un agroecosistema de cacao (*Theobroma cacao* L.).

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Fundamento teórico científico

1.1.1. El cambio climático

El cambio climático global o Calentamiento global, es un proceso de origen antrópico, que resulta de la aceleración del efecto invernadero natural de la tierra. La importancia de este proceso radica en las consecuencias catastróficas que está generando en todo el mundo como el derretimiento de los polos, incremento del nivel de mar, sequías, huracanes, tormentas, desplazamiento de áreas agrícolas, migración de enfermedades, extinción de especies, entre otras (SIFEM, 2000).

Causas antrópicas del cambio climático

El ser humano se ha convertido en uno de los agentes de cambios climáticos. Su influencia comenzaría con la deforestación de bosques para convertirlos en tierras de cultivo y pastoreo, pero en la actualidad su influencia sería mucho mayor al producir la emisión abundante de gases que producen un efecto invernadero. Rodríguez y Mance (2009), mencionan que “las concentraciones de dióxido de carbono, metano y óxido nítrico han aumentado considerablemente desde mediados del siglo dieciocho, época del inicio de la revolución industrial, como consecuencia de la acción humana, origen antropogénico, en el lenguaje científico”. Manifiestan también que el CO₂ es el gas de efecto invernadero de origen antropogénico que más ha contribuido al calentamiento global, y se produce a consecuencia del consumo de los combustibles fósiles y de la deforestación: los árboles y las plantas que componen los bosques contienen carbono; al quemarse, que es la forma más usual de deforestación, o descomponerse después de que han sido talados, emiten CO₂. Las emisiones de metano se producen principalmente a consecuencia de diversas actividades agropecuarias, como el cultivo del arroz, procesos de descomposición orgánica en las aguas de inundación, y la cría del ganado, la emisión producida por el proceso digestivo y las heces. Las emisiones de óxido nítrico se derivan principalmente del uso de agroquímicos en la agricultura. Si bien el CO₂ es un GEI de menor potencia que el metano, el óxido nítrico o los fluorocarbonados, su abundancia relativa en la

atmósfera y su incremento exponencial en los últimos cincuenta años explican por qué es el principal responsable del incremento de la temperatura.

Las manchas solares y su efecto en el cambio climático

Bruckman y Ramos (2009), publicaron en la Revista Umbral, de la Universidad de Puerto Rico, un artículo intitulado “El sol y el clima en la tierra”, en el cual manifiestan que la influencia del sol sobre la Tierra es de singular importancia y es por tanto muy relevante investigar como los cambios en este astro afectan nuestro clima, lo que en particular se ha hecho con las variaciones en la actividad solar asociada al ciclo de manchas. En este ciclo, de aproximadamente 11 años, se produce en la superficie del sol un aumento significativo de regiones de menor luminosidad llamadas manchas solares También ocurren una serie de fenómenos explosivos tales como las fulguraciones, eyecciones de masa coronas y otros transientes. Indican también que la relevancia de esta actividad solar en nuestro clima se evidencia por la existencia de un periodo histórico de 1645 a 1715, llamado el Mínimo de Maunder, donde las manchas solares virtualmente desaparecieron, y el clima se caracterizó por temperaturas muy por debajo de las actuales, existiendo por lo tanto una fuerte conexión causal entre la actividad solar y las temperaturas de la Tierra.

Las investigaciones descritas en el párrafo anterior sugieren que el Sol afecta a la Tierra de manera directa, por cambios en su flujo de radiación, y también de manera indirecta ya que modula el flujo de rayos cósmicos que inciden sobre nuestro planeta. En otras palabras, una disminución de actividad solar puede reducir las temperaturas sobre la Tierra debido a menor radiación solar y mayor flujo de RCG. Los RCG pudieran influenciar las temperaturas al producir un aumento en la cubierta de nubes lo cual disminuye la insolación sobre la superficie terrestre.

Marcote (2009), manifiesta que la luminosidad del Sol, que fija la energía que llega a la tierra por radiación. Aquí, y a pesar de lo que pueda parecer en un principio, la máxima luminosidad se produce cuando existe una mayor actividad solar (lo que produce un mayor número de manchas) ya que, aunque un porcentaje de la superficie del Sol está oscurecido por las manchas, en promedio existen más zonas brillantes como consecuencia del gas calentado por los fuertes campos magnéticos. Sin embargo, estos cambios de luminosidad entre máximos y mínimos

de actividad solar son solo del orden de un 0.1% de la luminosidad media del Sol, lo cual es un cambio bastante despreciable como para que pueda afectar de una forma tan significativa a nuestra atmósfera.

1.1.2. El efecto invernadero

Es un fenómeno natural que ha permitido mantener la temperatura de la tierra a niveles constantes y apropiados. Este fenómeno ocurre, cuando la radiación solar visible penetra hasta la superficie de la tierra y la calienta, y ésta a su vez emite radiación térmica, parte de la cual es retenida por los denominados Gases de Efecto Invernadero (GEI) entre los que se destacan: el Dióxido de Carbono (CO₂), Monóxido de Carbono (CO), Metano (CH₄), Clorofluorocarbonos (CFC's) y Óxido Nítrico (N₂O). Cuando el sistema climático se encuentra equilibrado, la radiación solar absorbida está en armonía con la radiación emitida al espacio por la tierra, pero cuando la concentración de GEI en la atmósfera aumenta, este equilibrio se rompe y se provoca un aumento artificial en la temperatura media global del planeta (PNUMA, 1998).

1.1.3. Características de los SAF

Según señala (Farrell y Altieri, s/a) citado por Ortiz y Riascos (2006)

- **Estructura:** Combina árboles, cultivos y animales en forma conjunta.
- **Sustentabilidad:** Optimiza los beneficios de las interacciones y mantiene la productividad a largo plazo sin degradar la tierra.
- **Incremento en la productividad:** Al mejorar las relaciones complementarias entre los componentes del sistema, la producción será mayor en comparación a los sistemas tradicionales de uso de la tierra.
- **Adaptabilidad cultural/socioeconómica:** Se aplica a una amplia gama de predios y de condiciones socioeconómicas, aunque tiene mayor impacto en zonas donde los agricultores no pueden adaptar tecnologías muy costosas y modernas.

1.1.4. El ciclo del carbono

Comienza con la fijación del carbono atmosférico a través de los procesos de la fotosíntesis realizados por las plantas y ciertos microorganismos. En este proceso,

el CO₂ y el agua reaccionan para formar carbohidratos y liberar oxígeno a la atmósfera. Parte del carbohidrato se consume directamente para suministrar energía a la planta y el CO₂, se libera a través de sus hojas o de sus raíces. Otra parte es consumida por los animales que también respiran y liberan CO₂. Las plantas y los animales mueren y son finalmente descompuestos por microorganismos del suelo lo que da como resultado que el Carbono de sus tejidos se oxide en CO₂. (Ordoñez, 1999).

La velocidad de absorción del CO₂ es directamente proporcional al crecimiento de árboles, preservar los bosques naturales es una manera eficaz de fijar CO₂, de lo contrario, una ordenación de especies leñosas perennes aprovechadas en el mejor momento, convertir la madera en productos duraderos y promover la regeneración, permite fijar el máximo posible de carbono; evidentemente esta medida de aprovechamiento tiene límites, pues la utilización industrial de los bosques no es factible desde el punto de vista de conservación del ecosistema, de la biodiversidad y del fondo genético (Kirklund, 1990).

A fines de los años 70's el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y luego la Sociedad Mundial de Meteorología (SMM), alertaron sobre una drástica variación climática a nivel mundial (UNEP y GMS, 1992).

La Convención Marco de las Naciones Unidas, sobre el Cambio Climático (CMNUC), se realizó en 1992, durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD), en Río de Janeiro, Brasil, donde el principal objetivo fue la “estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmosfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático” (Estrada, 2014).

Muños (2006), afirma que, el contenido de carbono en el suelo, disminuye con la profundidad, donde el decrecimiento es en forma exponencial, lo cual concuerda con (Bernoux *et al.* 1998), quien indica que en sistemas agrícolas es común encontrar

disminuciones exponenciales de C. Además, determinó que un 65 – 70% del total de carbono se encuentra en los primeros 10 cm. del suelo.

Entre los sumideros de Carbono, se encuentran los propios suelos agrícolas, cuya capacidad de almacenar Carbono está directamente relacionada con el contenido de materia orgánica de los mismos (Ramos, 2003).

1.1.5. Descomposición de la materia orgánica en el suelo

Las transformaciones por las que pasa el carbono comprenden esencialmente dos fases, una de fijación y otra de regeneración. La fijación del gas carbónico atmosférico es efectuada por los organismos fotosintéticos, plantas verdes, algas y bacterias autótrofas. Esta fijación finaliza con la síntesis de compuestos hidrocarbonados de complejidad variable, amidas, hemicelulosas, celulosas, ligninas, proteínas, aceites y otros polímeros. Estos compuestos retornan al suelo con los residuos vegetales y son utilizados por los microorganismos que regeneran a gas carbónico durante reacciones de oxidación respiratoria, en las cuales se emplea energía (Mendonca y Gomide, 2005) citados por (Farfán, 2014).

La velocidad de descomposición de la materia orgánica del suelo, independiente de la forma en que se encuentre, está condicionada por numerosos factores, entre ellos están: origen y naturaleza de la materia orgánica, agentes responsables de la descomposición, humedad, temperatura, acidez del suelo y contenido de nutrientes del suelo (Farfán, 2014).

1.1.6. La biomasa

Se define como la suma total de la materia viva que se encuentra en un ecosistema en un momento determinado y se expresa en términos de peso seco, masa o volumen. Los estudios de biomasa son importantes para comprender el ecosistema forestal, ya que explican la distribución de la materia orgánica en el sistema y permiten evaluar los efectos de una intervención, respecto a su equilibrio en el ecosistema (Somarriba y Beer, 1986).

La FAO (1998), citado por Gonzáles (2008), considera que la biomasa es un elemento principal para determinar la cantidad de carbono almacenado en el bosque.

La biomasa forestal permite elaborar previsiones sobre el ciclo mundial del carbono, que es un elemento de importancia en los estudios sobre el cambio climático. Además, para una parte de la población humana que vive en las zonas rurales de los países en desarrollo, la biomasa es una fuente primordial de combustible para cocinar y para calefacción; mientras que el IPCC (2000), manifiesta que la biomasa es considerada como la masa total de organismos vivos en una zona o volumen determinado; a menudo se incluyen los restos de plantas que han muerto recientemente (biomasa muerta).

A través de la fotosíntesis, los árboles toman dióxido de carbono del aire, lo combinan con hidrógeno que obtienen del agua del suelo utilizando la energía almacenada en los cloroplastos y a partir de estos, se sintetizan los carbohidratos básicos que, al combinarse con otros elementos minerales del suelo, pueden ser utilizados para aumentar el tamaño de los órganos vegetales y de esta forma satisfacer las necesidades reproductivas, por lo que la función biológica de las plantas es tomar los factores decrecimiento disponibles sobre una área determinada y transformarlos en compuestos orgánicos de diversas composiciones (Harold, 1984, citado por Lino, 2009).

El almacenamiento de Carbono depende: de la especie arbórea y densidad de siembra, la materia orgánica presente en el suelo, edad de los componentes, tipos de suelos, características del sitio, factores climáticos y el manejo agroforestal al que se vea sometido (Segura, 1997).

a. Métodos para la estimación de biomasa y carbono almacenado

Método directo: es denominado también método destructivo y consiste en medir los parámetros básicos de un árbol (entre los más importantes el diámetro a la altura del pecho-DAP, altura total, diámetro de copa y longitud de copa); derribarlo y calcular la biomasa pesando cada uno de los componentes (fuste, ramas y follaje) (González, 2008).

Método indirecto: este método es utilizado cuando existen árboles de grandes dimensiones y en casos en los que se requiere conocer el carbono de un bosque sin necesidad de derribar los árboles. En este método se cubica y estima el volumen de

las trozas con fórmulas dendrométricas; el volumen total del fuste o de las ramas gruesas se obtiene con la suma de estos volúmenes parciales. Se toman muestras de madera del componente del árbol y se pesan en el campo, luego se calcula en el laboratorio los factores de conversión de volumen a peso seco, es decir, la gravedad específica verde y la gravedad específica seca o densidad básica en gramos por centímetro cúbico (González, 2008).

El cálculo de biomasa es el primer paso para evaluar la productividad de los ecosistemas, y la contribución de los bosques tropicales en el ciclo global del C (Parresol, 1999; Ketterings *et al.*, 2001). La biomasa es un parámetro que caracteriza la capacidad de los ecosistemas para acumular materia orgánica a lo largo del tiempo (Brown, 1997; Eamus *et al.*, 2000); está compuesta por el peso de la materia orgánica aérea y subterránea que existe en un ecosistema forestal (Schlegel *et al.*, 2000).

Químicamente, la madera de coníferas y latifoliadas está compuesta elementalmente por carbono (C, 50%), oxígeno (O, 43%), hidrógeno (H, 6%), nitrógeno (N, 0.8%) y de sustancias minerales (0.2%, cenizas) (CONAFOR-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 2011). Según el IPCC (2006), la biomasa es la masa total de organismos vivos presentes en un área o volumen dados; se suele considerar biomasa muerta el material vegetal muerto recientemente.

La biomasa es importante para cuantificar la cantidad de nutrientes en diferentes partes de las plantas y estratos de la vegetación, permite comparar distintos tipos de especies o vegetación o comparar especies y tipo de vegetación similares en diferentes sitios. La cuantificación de la biomasa y el crecimiento de la vegetación en los ecosistemas son críticos para las estimaciones de fijación de C, un tema actualmente relevante por sus implicaciones en relación al cambio climático (Budowski, 1999; Malhi y Grace, 2000; Snowdon *et al.*, 2001).

Ordóñez (1999), indica que el carbono en la vegetación es la suma del contenido en la biomasa aérea y la que se halla en la biomasa de las raíces. La biomasa aérea comprende el tronco, las hojas, las ramas y el follaje, mientras que el carbono contenido en las raíces es definido como biomasa de las raíces; mientras que

Montoya y Tipper (1995), aseveran que el carbono contenido en la biomasa es aproximadamente el 50% del peso seco, ya que existen técnicas adecuadas para medir o monitorear el progreso de captura de carbono tanto en plantaciones comerciales como en masas de árboles viejos, el autor hace la conversión de biomasa a carbono multiplicando la biomasa por un factor 0.45.

b. Modelos alométricos para estimar la biomasa

Para Ruiz-Díaz *et al.* (2014), indica que para entender el concepto de ecuaciones alométricas es necesario saber que la alometría estudia los patrones de crecimiento de los seres vivos y las proporciones de sus partes en relación a las dimensiones totales. Entonces, una ecuación alométrica de biomasa 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 de fácil obtención. Las ecuaciones son generadas a partir de los análisis de regresión, donde se estudian las relaciones entre la masa de los árboles y sus datos dimensionales (Rügnitz *et al.*, 2009).

Un modelo alométrico es una relación matemática entre una variable independiente y una dependiente, que tiene por objeto explicar las relaciones existentes entre los atributos y dimensiones del árbol y el peso seco de sus componentes (biomasa). La variable independiente puede ser estimada a partir de métodos destructivos (peso de componentes de individuos) o partir de parámetros biométricos estimados en campo directamente (DAP, altura). (Nelson *et al.*, 1999).

Para integrar las ecuaciones se requiere de muestreo destructivo de n número de árboles para relacionar alguna de las variables, tales como diámetro normal (DN), altura comercial (AC) y total (AT), el crecimiento diamétrico, el área basal y la densidad específica de la madera (Brown, 1997; Araujo *et al.*, 1999; Francis, 2000). Esta técnica es conocida como análisis dimensional o alometría, lo cual consiste en el estudio del cambio de proporción de varias partes de un organismo como resultado de su crecimiento (López, 1988) y es extrapolable a situaciones de crecimiento similares (Parresol, 1999). Las ecuaciones de biomasa mejoran su predicción cuando se consideran al mismo tiempo las variables diámetro y altura, pero la medición de ésta última no se realiza en la práctica, debido a que toma mucho tiempo y en algunos bosques con coberturas cerradas no es fácil identificar la punta del árbol,

sobre todo cuando las mediciones se hacen en forma indirecta. De cualquier manera, en la mayoría de los casos se logra una precisión satisfactoria cuando sólo se usa DN como variable dependiente (Grier y Logan, 1978; Brown, 2001 y Acosta-Mireles *et al.*, 2002). Información tomada de Ruiz-Díaz *et al.* (2014).

La cuantificación de Carbono almacenado en un bosque o una especie forestal específica, se realiza a través de la estimación de biomasa, conociendo como tal a la cantidad total de materia orgánica viva de la parte aérea de las plantas, expresada como toneladas en peso seco al horno por unidad de área (Brown, 1997).

Dicha estimación se puede realizar por el método destructivo que consiste en cortar los árboles y realizar las mediciones respectivas, o por el método no destructivo, el cual estima la biomasa por medio de análisis de regresión (Araujo *et al.*, 1999). Mac Diken (1997), señala que lo ideal para realizar análisis de regresión es tener una muestra con 30 o más individuos.

Franco (2007), indica que el contenido de dióxido de carbono (CO₂) almacenado en la biomasa aérea de los bosques templados en el Estado de México, se estimó en base a los índices de contenido de dióxido de carbono reportados en el año 2005 para el Parque Nacional Nevado de Toluca, obteniendo las siguientes ecuaciones: Cálculo de la biomasa almacenada en el estrato arbóreo: $BA = V * 0.49$; donde: 0.49 = factor de densidad de la madera. Cálculo del contenido total de dióxido de carbono almacenado en la biomasa aérea: $CBA = PT * (0.45)$.

Dónde: PT= peso total y 0.45 = factor de expansión.

Brown *et al.*, (1989), indican que se han desarrollado modelos generales como herramienta para estimar el contenido de biomasa aérea en inventarios forestales. Estos pueden ser utilizados, en forma general, cuando no existen modelos específicos para zonas o condiciones particulares. Por su parte, Segura (1997), manifiesta que luego de muchos estudios en campo y laboratorio se han generado modelos alométricos específicos para algunas especies forestales de uso comercial, los mismos que para estimar biomasa únicamente requieren de valores tomados en campo como DAP y altura del árbol y por simple aplicación del modelo se obtiene la biomasa. De esta forma las ecuaciones alométricas se convierten en herramientas

muy útiles de uso fácil y de aplicación inmediata con solo disponer un juego de datos de campo tomados en árboles en pie sin necesidad de destruirlos.

La metodología desarrollada por el International Center for Research in Agroforestry (ICRAF), siguiendo los procedimientos del manual de determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de tierra (Arévalo *et al.*, 2003). Tal es así, que la Biomasa arbórea viva (kg/árbol) y para efectos de utilizar esta metodología, se calcula la biomasa de cada uno de los árboles vivos y árboles muertos en pie, utilizando el siguiente modelo: Biomasa Aérea = $0.1184 \text{ DAP}^{2.53}$. Donde, BA = Biomasa de árboles vivos y árboles muertos en pie; 0.1184 = Constante; DAP = Diámetro a la altura del pecho (cm) y 2.53 = Constante exponencial.

Así mismo, Larrea (2007), determinó la ecuación alométrica (modelo de biomasa): Biomasa = $0.4849 \text{ Diámetro}^{1.42}$, con el fin de estimar la biomasa específica para la especie de cacao en función a la información levantada mediante inventarios en Mariscal Cáceres, dicha ecuación fue elaborada en base a 30 árboles de diferentes zonas con similares condiciones ambientales.

1.2. Antecedentes

La cantidad de carbono almacenado se relaciona con la capacidad del bosque de mantener cierta cantidad de biomasa por hectárea, la cual está en función a su heterogeneidad, condiciones de clima y suelo. Se asume que el 45% de la biomasa seca es carbono. Existe en los bosques una acumulación de carbono almacenado que no es liberado a la atmósfera. En ecosistemas de bosques tropicales la biomasa seca puede variar de 150 y 382 t C ha⁻¹, por lo tanto, el carbono almacenado varía entre 67.5 a 171 t C ha⁻¹ (Alegre *et al.* 2001).

En otros casos, Lapeyre *et al.*, (2009), cuantificaron el contenido de carbono en un sistema agroforestal con cacao asociado a especies forestales de 15 años y encontraron 47.2 t C ha⁻¹ de los cuales, 0.028 t C ha⁻¹ correspondieron al componente herbáceo y 5.07 t C ha⁻¹ a mantillo.

Investigación realizada por (Díaz, Fachin, Tello y Arévalo, 2016), titulada, Carbono almacenado en cinco sistemas de uso de tierra, en la región San Martín Perú. El estudio tenía como objetivo cuantificar el carbono almacenado en la biomasa aérea y en el suelo, en cinco sistemas de uso de la tierra: bosque Primario, bosque secundario, Pijuayo (*Bactris gasipaes* Kunth), Cacao (*Theobroma cacao* L.) y Café (*Coffea arabica* L.). Se instalaron tres transectos de 100 m² (4 m x 25 m), en cada sistema. Donde se evaluó la biomasa aérea viva, la hojarasca y el suelo (0 - 30 cm). Se utilizó la metodología desarrollada por el ICRAF y la cantidad de carbono total bosque primario y secundario fue de 398.78 y 396.78 t ha⁻¹, mientras que los sistemas de pijuayo, cacao (con 7 años de edad) y café presentaron valores de 22.68, 17.46 y 17.88 t ha⁻¹; respectivamente. En el componente suelo el bosque secundario tuvo un total de carbono almacenado de 113.94 t ha⁻¹, el bosque primario tuvo el 81%; y los sistemas de pijuayo, cacao y café presentaron valores de 43.4%, 48.7% lo cual es equivalente a 54.69 t ha⁻¹ y 49.81% respectivamente, con relación al bosque primario.

En un estudio sobre el Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales cafetaleros en las provincias de Jaén y San Ignacio, Cajamarca, desarrollado por (Cabrera *et al.*, 2016), la cual tuvo como principal objetivo estimar la cantidad de almacenamiento de carbono de los sistemas agroforestales cafetaleros de las provincias de Jaén y San Ignacio. Se trabajó con parcelas agroforestales de socios pertenecientes a la Cooperativa de Servicios Múltiples Sol & Café LTDA. Se muestreó 32 sistemas agroforestales, los cuales presentaron un dosel de sombra diversificada, con diferentes densidades de siembra y manejo. Dentro del sistema se evaluó cuatro componentes: biomasa aérea viva (árboles y café), hojarasca y suelo. Para estimar la cantidad de biomasa viva se usó el método directo e indirecto.

El primero fue utilizado para el café a través de la extracción y fragmentación de cada uno de sus componentes y el segundo para árboles a partir de ecuaciones alométricas establecidas. Para el caso del café se estableció una ecuación alométrica referencial, la cual fue trabajada en base a las muestras representativas, obtenidas de cada una de las parcelas evaluadas; (modelo alométrico); relacionando a la biomasa aérea seca con el diámetro de la planta. Se puede concluir que el carbono almacenado en los sistemas agroforestales osciló entre 45.22 a 144.05 t.C/ha, con un

promedio de 76.49 t.C/ha. Estos resultados se encuentran influenciados por factores físicos, biológicos, manejo y condiciones agroecológicas diferentes, las cuales influyen en la biomasa acumulada en este tipo de ecosistema (Cabrera *et al.* 2016).

En la investigación realizada por (Ortiz y Riascos, 2006), titulado almacenamiento y fijación de carbono del sistema agroforestal cacao *Theobroma cacao* L. y Laurel *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavón) Oken en la reserva indígena de Talamanca, Costa Rica, se llevó a cabo en la Reserva Indígena de Talamanca, Costa Rica y tuvo como fin simular la capacidad de almacenamiento y fijación de carbono del sistema agroforestal de cacao *Theobroma cacao* L. - Laurel *Cordia alliodora*, en dos condiciones de relieve (valle y loma), bajo tres densidades de siembra para laurel (6 x 6, 9 x 9 y 12 x 12 m) y una densidad de siembra para cacao, en un período de 25 años.

Donde se obtiene los siguientes resultados, la cantidad promedio de carbono almacenado en el sistema agroforestal con cacao y laurel (SAF-CL) fue de 126.4 tn.C.ha⁻¹ en valle y de 114.5 tn.C.ha⁻¹ en loma bajo la densidad 6x6 m. El carbono promedio almacenado en las densidades 9 x 9 m y 12 x 12 m, fue de 109.7 y 97.9 tn.C.ha⁻¹, respectivamente, en un período de 25 años. Las tasas de fijación promedio en los SAF-CL de la Reserva Indígena de Talamanca, fue de 5.1 tn.C.ha⁻¹ año⁻¹ en el mismo período de tiempo (Ortiz y Riascos, 2006).

En la investigación realizada por Pocomucha *et al.* (2007), Departamento Académico de Biología, Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima – Perú, titulado “Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L. en el departamento de San Martín, Perú”, donde se obtuvieron los siguientes resultados: en captura de carbono en cada sistema agroforestal varían desde 26.2 t C ha⁻¹ para el sistema de Pachiza de 5 años hasta 45.07 t C ha⁻¹ del sistema agroforestal de Pachiza de 12 años; así mismo, la captura de carbono en biomasa arbórea de los árboles vivos, osciló desde 12.09 t ha⁻¹ hasta 35.5 t ha⁻¹, seguido por la biomasa de hojarasca que presentaron valores desde 4 t ha⁻¹ hasta 9.97 t ha⁻¹; mientras la biomasa de árboles muertos en pie y caídos muertos presentaron valores muy variables y bajos.

Investigación realizada por (Odar, 2018), tesis titulada, Evaluación de almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café (*Coffea spp.*) en el anexo de Vilaya, distrito de Colcamar, Provincia de Luya, Amazonas, 2017-2018, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas- facultad de ingeniería civil y ambiental. Donde se evalúa el almacenamiento de carbono aéreo y porcentaje de carbono del suelo en policultivos de café con diferentes árboles de sombra en terrenos ubicados en el Anexo de Vilaya, incluyendo café (*Coffea spp.*), guaba (*Inga spp.*) y pashaco (*Schizolobium spp.*) el tiempo medio de producción de los sistemas agroforestales de café catimor fue de 4.5 años. En donde se consideró 4 componentes: biomasa aérea viva (árboles y café), suelo, hojarasca y maleza. Para estimar la cantidad de biomasa se usó el método directo a través de la fragmentación, peso seco y peso húmedo de cada uno de sus componentes. Para el café se estableció una ecuación alométrica: $B_{(kg)} = 14\,928 - 5\,319(DAP) + 0\,598(DAP)^2 - 0.019(DAP)^3$ en donde se consideró un coeficiente de determinación de 0.947. En los resultados se obtuvo que los sistemas de café-guaba-pashaco almacenaron 26.922 tn C/ha, mientras que los de café- guaba, 16.305 tn C/ha en la biomasa aérea, se observó la existencia de correlación altamente significativa entre el porcentaje de carbono del suelo y el porcentaje de nitrógeno (índice de correlación de $r = 0.989$). También, se observó que los sistemas café-guaba-pashaco presentaron un porcentaje del 2.58% de carbono en el suelo, mientras que los de café-guaba, 2.51%.

Investigación realizada por Larrea (2007), en la Universidad Nacional Agraria la Molina cuyo título es “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”, donde encontraron que los sistemas de cacao con especies forestales maderables y frutales, presentaron una mayor acumulación de carbono almacenado en la biomasa aérea arbórea, a su vez, estos favorecen de manera constante la presencia de abundante hojarasca, funcionando como principal agente de conservación del suelo y excelente controlador de maleza. Los flujos de fijación de carbono para cada uno de los sistemas fluctuaron desde 0.99 a 8.02 t C ha⁻¹ al año. El sistema más rentable para esta actividad es el de cacao de 8 años con sombra de capirona, bolaina y caoba, con un ingreso anual aproximado de US\$ 150.33 dólares americanos, por tonelada de CO₂ / ha / año.

La Universidad de la Selva Alta de Tingo María – Huánuco – Perú, cuantificó las reservas totales de carbono en el sistema agroforestal (SAF) del Banco de Germoplasma de Cacao en la UNAS Tingo María, utilizando la metodología estandarizada por ICRAF, determinó que la relación entre la fijación de CO₂ atmosférico y la transformación en carbono orgánico para la producción de biomasa en las plantas fotosintetizadoras es de 27.30% en consecuencia, al carbono orgánico almacenado en la biomasa vegetal del SAF, calculado en 94.383 t C ha⁻¹, le corresponde un volumen de 345.73 toneladas de CO₂ por hectárea; es decir; en las 121 818.08 hectáreas de SAFs, las plantas estarían fijando un volumen total de 116 164.80 toneladas de CO₂ atmosférico como emisiones evitadas (Hidalgo, 2011).

Investigación realizada por Quiñe y Chappa (2009), reportan los resultados del ensayo titulado “Cuantificación de Biomasa y Reserva de Carbono en Sistemas Agroforestales de Café (*Coffea arabica* L.) en dos pisos altitudinales”. Se utilizó una estadística descriptiva y comparativa, que tiene como propósito cuantificar la reserva de carbono en sistemas agroforestales con Café de dos pisos altitudinales en la Región San Martín. Estas comparaciones se realizaron en la EE - ICT, ubicado a 2.5 Km de Tarapoto, en el distrito de la Banda de Shilcayo, Sector Laguna Venecia (transectos 1, 2, 3), y en el Fundo Sananguillo, sector Sananguillo, a 10 Km de la ciudad de Lamas, en el distrito de Lamas, provincia de Lamas, (transectos 4, 5, 6). Los resultados muestran las reservas de carbono por cada tipo de biomasa aérea y del suelo en las dos parcelas que fueron evaluadas. En la parcela del Fundo Juan Bernito, la cantidad de carbono total (biomasa aérea y del suelo) almacenado fue de 119.37 t C ha⁻¹; donde la mayor aportación fue el carbono en el suelo con 74.76 t C ha⁻¹; seguida de los árboles vivos, árboles caídos muertos, hojarasca o mantillo y arbustos-herbáceas con 32.85; 5.32; 4.87; 1.89 t C ha⁻¹ respectivamente. En el Fundo Sananguillo, la cantidad de carbono almacenado fue 165.81 t C ha⁻¹ superando al total de carbono almacenado en el Fundo Juan Bernito. La mayor aportación fue el carbono en el suelo con 114.99 t C ha⁻¹; seguida de los árboles vivos, árboles caídos muertos, hojarasca o mantillo, arbustos y las herbáceas con 27.83; 17.65; 2.98; 2.35 t C ha⁻¹ respectivamente.

Investigación realizada por (Valera, 2013), tesis titulada: Determinación de la influencia de las condiciones climáticas en la captura de carbono en un sistema

Theobroma sp “cacao” con sombra en Alto el Sol - Pachiza - 2012, Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, Facultad de Ecología. La investigación se realizó con el fin de determinar la influencia de las condiciones climáticas en la captura de carbono en el sistema *Theobroma sp* cacao con sombra en Alto el Sol - Pachiza-2012, los meses de junio a agosto los que registran el mayor incremento de esta captación (51.17 kg biomasa y Carbono 22.58 kg), siendo la precipitación pluvial en nuestra región la que influye en forma directa en la captura del carbono, y considerando que solo se evaluó la biomasa área de la plantación por lo tanto se obtuvo el 18.99 t.C/ha⁻¹ en plantaciones de 3 años.

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Tipo y nivel de investigación

2.1.1. Tipo de investigación

Por el tipo de investigación, el presente proyecto reúne condiciones metodológicas de una investigación aplicada, ya que tiene como interés primordial la resolución de problemas prácticos inmediatos en orden de transformar las condiciones.

2.1.2. Nivel de investigación

La presente investigación corresponde al nivel descriptivo-explicativo, puesto que se caracterizará un hecho con el objeto de establecer la cantidad de carbono almacenado en un agroecosistema de cacao usando herramientas estadísticas descriptivas; adicionalmente se busca el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones de causa-efecto, buscando determinar las causas, así como los efectos, mediante la utilización de un diseño estadístico experimental.

2.2. Diseño de investigación

De acuerdo a la naturaleza de la investigación, corresponde a un diseño de investigación no experimental, puesto que no existe manipulación de ninguna de las variables.

2.3. Población y muestra

2.3.1. Población

La unidad total de evaluación será una hectárea y media (15 000 m²) en cuanto al agroecosistema de cacao (*Theobroma cacao* L.), que tiene una edad de 4 años en el sector Shupishiña – San Martín.

2.3.2. Muestra

Especies encontradas en 3 transeptos (parcela de muestreo o repeticiones) de 50 m x 20 m (1 000 m²) haciendo un total de 3 000 m² el cual representa un 20% del área total por unidad de área (15 000 m²).

2.4. Técnica e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas utilizadas fueron la observación y toma directa de datos en campo, análisis de los árboles de cacao, otras especies arbóreas, hojarasca, herbáceas y análisis de laboratorio. Los instrumentos de recolección de datos utilizados fueron fichas de observación, fichas toma de datos en campo, fichas toma de datos en laboratorio y fichas bibliográficas (Fuente primaria y secundarias).

2.4.1. Fuentes primarias

Observación y toma directa de datos en la parcela de cacao, análisis de las plantas de cacao, otras especies arbóreas, maderables, hojarasca, herbáceas y análisis de laboratorio.

Los instrumentos de recolección de datos fueron las fichas de observación, fichas de toma de datos en campo, fichas toma de datos en laboratorio y fichas bibliográficas.

2.4.2. Fuentes secundarias

Para el desarrollo del siguiente proyecto se consultaron estudios similares al presente proyecto, sobre todo aquellos en los cuales se utilizó la misma metodología de evaluación propuesta por Araujo (2015).

2.4.3. Ubicación de la zona de estudio

a. Política

- Departamento : San Martín
- Provincia : San Martín
- Distrito : Morales
- Localidad : Mayopampa

b. Geográficas

- Localización : Sector Shupishiña, a 8 km del distrito de Morales
- Coordenadas UTM : Norte x: 0343151
Oeste y: 9280112
- Altitud : 337 msnmm

2.5. Metodología de campo

2.5.1. Toma de muestras

Para realizar los muestreos dentro del cacaotal seleccionado, se trazó 3 cuadros (parcela de muestreo o transectos) de 50 x 20 m (1,000 m²) en el centro del cacaotal, con el objetivo de disminuir el error de muestreo por los efectos de borde. El centro de la parcela de muestreo fue geo-posicionado, y por este paso la recta de 50 m que correspondió a la línea larga de división central de la parcela de muestreo. Esta recta fue orientada de acuerdo a la forma del cacaotal, siguiendo siempre la dirección de la distancia más larga que se presentaba en el cacaotal.

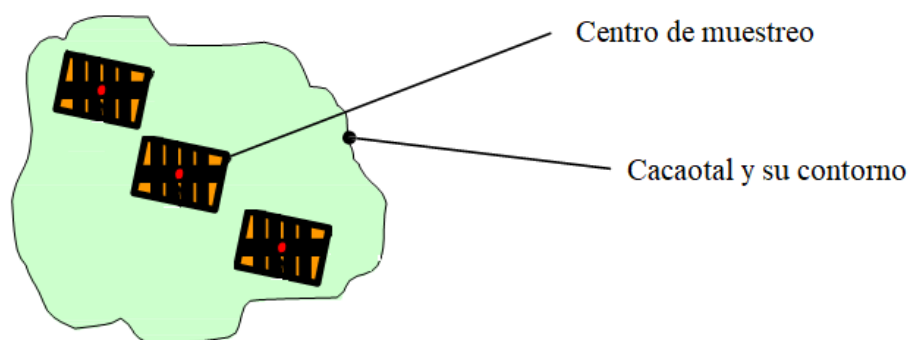


Figura 1. Diseño de la ubicación de la parcela de muestreo del cacaotal seleccionado (Fuente: Protocolo investigación CATIE).

Luego la parcela de muestreo fue dividida en 10 sub-parcelas o celdas de 10 x 10 m (100 m²), donde se tomaron las muestras y mediciones de árboles de sombra y cacao.

Celda A1	Celda A2	Celda A3	Celda A4	Celda A5
Celda B5	Celda B4	Celda B3	Celda B2	Celda B1

Figura 2. Diseño de la parcela de muestreo del cacaotal (Fuente: Protocolo investigación CATIE). Fuente. Protocolo de investigación CATIE

a. Biomasa del cultivo de cacao

Se tomaron datos del diámetro a una altura de 30 cm de la superficie del suelo de todos los árboles de cacao dentro y entre transeptos (repeticiones). Por ser una ecuación alométrica cercana a nuestra realidad se aplicó la ecuación alométrica (modelo de biomasa) propuesta por Larrea (2007) dada por la siguiente ecuación **Biomasa = 0.4849 Diámetro^{1.42}**, con el fin de estimar la biomasa específica para la especie de cacao.

b. Biomasa arbórea viva para las especies arbóreas

A partir de esta variable, las evaluaciones se realizaron en base a la metodología desarrollada por el International Center for Research in Agroforestry (ICRAF), siguiendo los procedimientos del manual de determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de tierra (Arévalo *et al.*, 2003).

Es toda la biomasa (tronco, ramas, hojas) de los árboles con diámetros mayores de 2.5 cm. Para estimar el carbono secuestrado en la biomasa arbórea viva, se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP) en los 3 transeptos luego se estimó su biomasa después de calcular el diámetro general promedio de cada árbol evaluado. Para los árboles inmersos en la evaluación se registró, el índice de densidad de la madera de la especie (alta: 0.8; media: 0.6; baja: 0.4).



Figura 3. Realizando la medición del Diámetro a la Altura del Pecho (DAP).

c. Biomasa arbustiva (Bab) y herbácea (Bhb)

La biomasa arbustiva y herbácea, estará compuesta por la biomasa sobre el suelo (epigea) de arbustos menores de 2.5 cm de diámetro, gramíneos y otras especies herbáceas. La biomasa se estimó por muestreo directo en los tres transeptos con cuadrantes de 1 m x 1 m, distribuidas al azar dentro del transepto donde está cada especie arbórea y se procedió a cortar toda la vegetación del suelo y se registró el peso fresco total por metro cuadrado de ésta, se colectó una sub-muestra, registrando el peso fresco y luego se colocó en una bolsa de papel correctamente identificadas y se secó en estufas de aire caliente a 75°C hasta que se obtuvo peso seco constante (48 horas). El peso seco de esta biomasa se llevó a t/ha^{-1} y este valor se multiplicó por el factor de 0.45; obteniéndose así la cantidad de carbono en esta biomasa.



Figura 4. Colección de muestras herbácea y arbustivas

d. Biomasa de la hojarasca (Bh)

Se cuantificó en base a la capa de mantillo u hojarasca y otros materiales muertos (ramillas, ramas) en cuadrantes de 0.5 m x 0.5 m colocados dentro de cada uno de los cuadrantes de 1m x 1 m. Se colocó toda la hojarasca en una bolsa de papel correctamente identificadas, se registró el peso fresco total por 0.25 m², de ésta se sacó una sub - muestra y se registró su peso, se colocaron en bolsas de papel debidamente codificadas y se secaron en estufa a 75°C hasta obtener peso seco

constante (48 horas). Este peso seco se llevó a kg/ha y se multiplicó por el factor de 0.45 para obtener la cantidad de C/ha en la hojarasca.

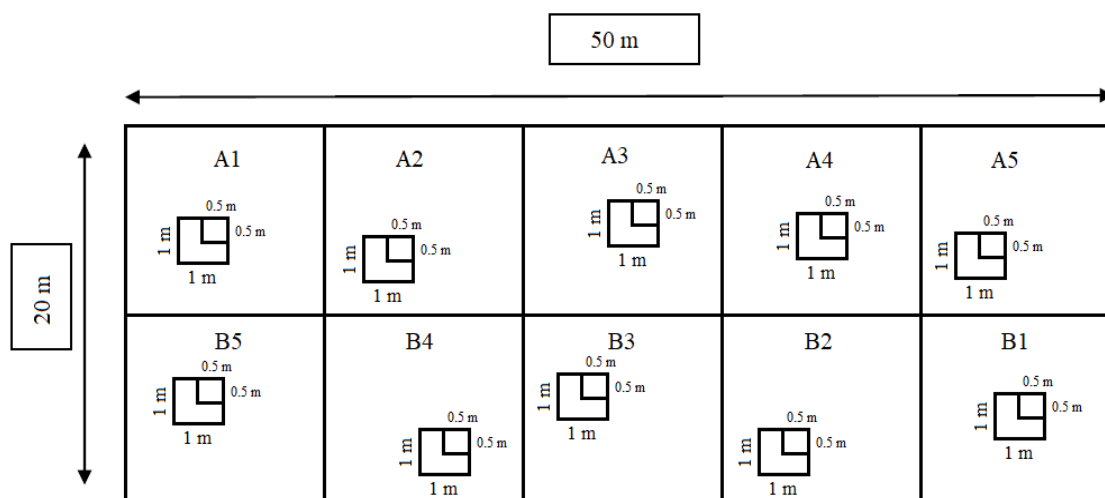


Figura 5: Ubicación de la toma de las submuestras de hojarasca 0.5 m x 0.5 m en las parcelas de muestreo.



Figura 6: Recojo de biomasa de hojarasca en el cuadrante de 0.5 m x 0.5 m

e. Muestreo de suelos y medición de densidad aparente

Para este proceso se excavó minicalicatas de 30 x 50 cm. Se delimitó tres profundidades de evaluación: 0-10; 10-20; 20-30 cm. Se tomaron tres sub-muestras por cada sub-parcela a (10, 20 y 30 cm) de profundidad, utilizando un tubo muestreador; estas sub-muestras fueron colocadas en diferentes bolsas de plástico identificadas y selladas, con el número de celda y profundidad en que se tomó la muestra (ejemplo MA de 0-10 cm, MA de 10-20 cm y MA de 20-30 cm).

En las parcelas de muestreo fueron tomadas 9 sub-muestras (3 sub-muestras a profundidad de 0-10 cm, 3 sub-muestras a profundidad de 10-20 cm y 3 sub-muestras a profundidad de 20-30 cm) haciendo un total de 27, luego fueron pesadas y secadas en condiciones ambientales, posteriormente se homogenizó y extrajo la muestra representativa de cada sub parcela de muestreo, que fueron analizadas en el laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas, fertilizantes y alimentos del instituto de cultivos tropicales.

Para el cálculo de la densidad aparente, se utilizó el método del volumen del cilindro, secando previamente la muestra de suelo en una estufa a 105° C hasta peso constante, obteniendo peso seco de la muestra. El volumen del cilindro está determinado por $V = \pi \cdot r^2 \cdot h$ (r=radio del cilindro; h=altura del cilindro). La densidad aparente se obtuvo aplicando la siguiente fórmula: $D_a = m_s / V_{\text{total}}$ (m_s =masa seca del suelo en g.; V_{total} = Volumen del cilindro en cm^3).



Figura 7: Muestreo de suelos y determinación de la densidad aparente.

f). Carbono orgánico del suelo

En cada sub parcela se recolectó muestras de suelo para cada profundidad de muestra, utilizando el barreno). Estas muestras fueron homogenizadas en un mismo recipiente, para en seguida retirarse una muestra compuesta que fueron depositadas en una bolsa de plástico para ser llevada al laboratorio para determinar el % de materia orgánica y la densidad aparente del suelo.



Figura 8: Extracción de la muestra para la determinar carbono orgánico del suelo.

Cálculos:

A. Calculo de la Biomasa Vegetal Total (t/ha)

$$\mathbf{BVT \text{ (t/ha)} = (BAVT + BAH + Bh)}$$

Dónde:

BVT	= Biomasa vegetal total
BAVT	= Biomasa total árboles vivos
BAH	= Biomasa arbustiva y herbácea
Bh	= Biomasa de la hojarasca

Comprende a su vez los siguientes cálculos:

a. Biomasa arbórea viva (kg/árbol)

Para efectos de utilizar esta metodología, se calculará la biomasa de cada uno de los árboles, utilizando el siguiente modelo:

$$\mathbf{BA = 0,1184 \text{ DAP}^{2,53}}$$

Dónde:

BA	= Biomasa de árboles vivos y árboles muertos en pie
0,1184	= Constante
DAP	= Diámetro a la Altura del Pecho (cm)
2,53	= Constante exponencial

- **Biomasa arbórea viva (t/ha⁻¹)**

Para calcular la cantidad de biomasa por hectárea, se sumará la biomasa de todos los árboles medidos y registrados (BTAV) en los transectos por especie arbórea, es decir:

$$\text{BAVT (t/ha)} = \text{BTAV} * 0,1$$

Donde,

BAVT = Biomasa árboles vivos en t/ha

BTAV = Biomasa total en los transectos por especie arbórea

0,1 = Factor de conversión cuando el transecto es de 4m x 25m

b. Cálculos de la biomasa arbustiva/herbácea (t/ha⁻¹)

Para estimar esta biomasa en t/ha, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{BAH (t/ha)} = ((\text{PSM}/\text{PFM}) * \text{PFT}) * 10$$

Donde:

BAH = Biomasa arbustiva/herbácea, materia seca

PSM = Peso seco de la muestra colectada (g)

PFM = Peso fresco de la muestra colectada (g)

PFT = Peso fresco total por metro cuadrado (Kg)

10 = Factor de conversión

Cálculos de la biomasa de hojarasca (t/ha⁻¹)

Para estimar la biomasa en t/ha, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Bh (t/ha)} = ((\text{PSM}/\text{PFM}) * \text{PFT}) * 40$$

Donde:

Bh = Biomasa de la hojarasca, materia seca

PSM = Peso seco de la muestra colectada (g)

PFM = Peso fresco de la muestra colectada (g)

PFT = Peso fresco total por metro cuadrado (Kg)

40 = Factor de conversión

c. Calculo del peso del volumen del suelo (t/ha⁻¹)

Para calcular el peso del volumen del suelo por hectárea, se evaluó primero la densidad aparente del suelo hasta los 20 cm de profundidad del suelo muestreado.

Comprende a su vez los siguientes cálculos:

1. Cálculo de la densidad aparente (g/cc)

$$\text{DA (g/cc)} = \text{PSN} / \text{VCH}$$

Donde:

DA (g/cc)	= Densidad Aparente
PSN	= Peso seco del suelo dentro del cilindro
VCH	= Volumen del cilindro (constante)

2. Cálculo del peso del volumen de suelo por horizonte en muestreo.

$$\text{PVs (t/ha)} = \text{DA} * \text{Ps} * 10000$$

Donde:

PVs (t/ha)	= Peso del volumen del suelo
DA	= Densidad Aparente
Ps	= Espesor o profundidad del horizonte del suelo
10000	= Constante

B. Cálculo del carbono total

$$\text{CT (t/ha)} = \text{CBV} + \text{CS}$$

Donde:

CT (t/ha)	= Carbono Total
CBV	= Carbono en la biomasa vegetal total
CS	= Carbono en el suelo

Cálculo del carbono en la biomasa vegetal total (t/ha⁻¹)

$$\text{CBV (t/ha)} = \text{BVT} * 0,45$$

Dónde:

CBV (t/ha)	= Carbono en la biomasa vegetal
BVT	= Biomasa vegetal total
0,45	= Constante

Cálculo del carbono en el suelo (t/ha^{-1})

$$CS (t/ha) = (PVs * \%C)/100$$

Dónde:

CS (t/ha) = Carbono en el suelo, en t/ha

PVs = peso del volumen de suelo

%C = Resultados porcentaje de C analizados en el laboratorio.

100 = Factor de conversión

2.6. Técnica de procesamiento y análisis de datos

2.6.1. Diseño y análisis estadístico

En el presente trabajo de investigación, se utilizó el Diseño Completamente al Azar (DCA), teniendo en cuenta lo siguiente:

a. Contenido de C en $t.ha^{-1}$ en el agroecosistema

Para la comparación entre los componentes generales del agroecosistema, se analizaron la cantidad de carbono presente en las plantas de cacao, en otras especies arbóreas de sombra, en la hojarasca, en planta herbáceas y en el suelo, tomando a estos componentes como 5 tratamientos y a cada transepto como repetición (3).

Tabla 1:

Tratamientos en estudio para determinar el contenido de C en $t.ha^{-1}$ en el agroecosistema

Tratamientos	Clave	Descripción
T1	C	Cacao
T2	E	Otras especies arbóreas de sombra
T3	Ho	Hojarasca
T4	He	Herbácea
T5	S	Suelo

b. Biomasa aérea en $kg.ha^{-1}$ en el agroecosistema

Para comparar la cantidad de biomasa presente en la parte aérea, se consideró como tratamientos (4) a la biomasa presente en la parte aérea de las plantas de cacao, de

otras especies arbóreas, biomasa presente en la hojarasca y plantas herbáceas, a cada transecto como repetición (3), cuyos datos fueron procesados y analizados, realizando otro análisis de varianza y comparación de medias (Duncan).

Tabla 2:

Tratamientos en estudio para determinar la biomasa aérea en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ en el agroecosistema.

Tratamientos	Clave	Descripción
T1	BC	Biomasa aérea en plantas de cacao
T2	BOEA	Biomasa aérea en otras especies arbóreas de sombra
T3	BHo	Biomasa en la hojarasca
T4	BHe	Biomasa en plantas herbáceas

c. Contenido de C en el suelo en $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$

Para comparar la cantidad de carbono en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ presente en el suelo de acuerdo a la profundidad del suelo, se consideró como tratamientos a cada una de las profundidades del suelo (3), a cada transecto como repetición (3), cuyos datos fueron procesados y analizados, realizando otro análisis de varianza y comparación de medias (Duncan).

Tabla 3:

Tratamientos en estudio para determinar la cantidad de carbono en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ presente en el suelo de acuerdo a la profundidad del suelo.

Tratamientos	Clave	Descripción
T1	0 a 10 cm	Cantidad de carbono en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ presente en el suelo a una profundidad de 0 a 10 cm
T2	10 a 20 cm	Cantidad de carbono en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ presente en el suelo a una profundidad de 10 a 20 cm
T3	20 a 30 cm	Cantidad de carbono en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ presente en el suelo a una profundidad de 20 a 30 cm

Los datos fueron procesados con software el programa Infostat y una hoja electrónica de cálculo; se realizó el análisis de varianza (ANVA) con nivel de confianza de 95%. Se aplicó la Prueba de Rangos Múltiples de Duncan para los promedios de tratamientos a un nivel de confianza del 95% y en función de los resultados obtenidos se elaboraron los gráficos para las presentaciones respectivas.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Contenido de C en t.ha⁻¹ en el agroecosistema

Tabla 4:
Análisis de la Varianza para el contenido de C en t.ha⁻¹

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloques	1.48	2	0.74	0.63	0.5547 N.S.
Tratamientos	447.22	4	111.80	96.17	<0.0001 **
Error	9.30	8	1.16		
Total	457.99	14			
R ² = 98.9%		C.V.= 21.13%			

El análisis de varianza (Tabla 4) determinó que en la fuente de variabilidad Tratamientos al menos uno de ellos fue diferente estadísticamente a una P<0,01 con un Coeficiente de Determinación (R²) de 98.9% y un Coeficiente de Variabilidad (C.V.) de 21.13%.

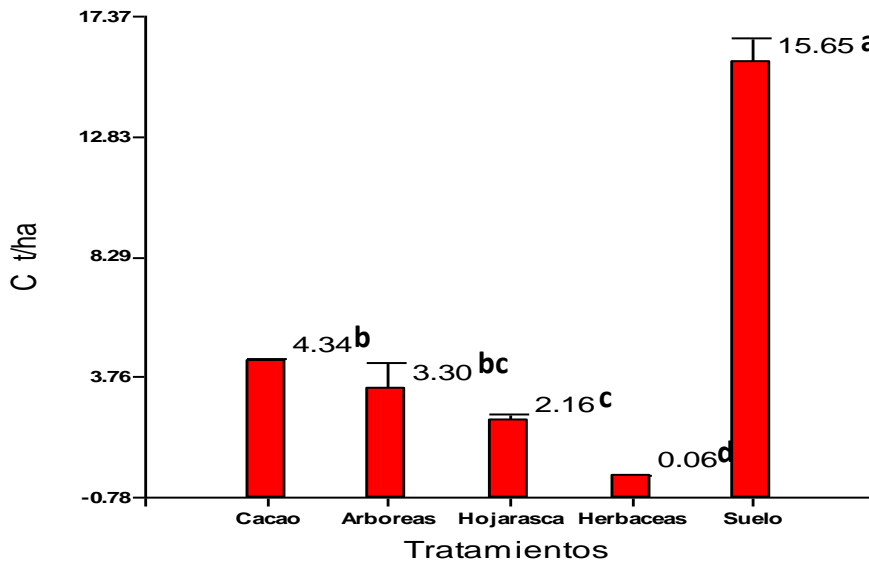


Figura 9: Prueba de Rangos múltiples de Duncan (Alfa=0.05) para promedios del C en t.ha⁻¹ por tratamiento.

En la Figura 9, se aprecia que el T5 (Suelo) se concentra el mayor promedio con 15.65 t de C.ha⁻¹ y el cual superó estadísticamente a los tratamientos T1 (Cacao), T2 (Arbóreas), T3 (Hojarasca) y T4 (Herbáceas) en donde los contenidos promedios fueron de 4.34 t.ha⁻¹, 3.3 t.ha⁻¹, 2.16 t.ha⁻¹ y 0.06 t.ha⁻¹ de C respectivamente; en suelo se concentró el mayor

contenido de C y considerando lo enunciado por Altieri (1999), citado por Ortíz y Riastos (2006), que los “agroecosistemas, son ecosistemas en los cuales el hombre ha promovido un proceso de intervención basado en la selección intencionada de sus componentes, al arreglo estructural de estos dentro de un espacio geográfico determinado para el cumplimiento de fines previamente establecidos orientados a la producción de alimentos y otros bienes y servicios”.

Así mismo, de acuerdo a la estimación del contenido de C en $t \cdot ha^{-1}$ por tratamiento en los diferentes componentes del presente ecosistema, podemos observar que del 100% del contenido de C secuestrado en el ecosistema estudiado (25.51 t de $C \cdot ha^{-1}$), en el suelo se ha concentrado el 61,34% (15.65 $t \cdot ha^{-1}$), seguido del cultivo de Cacao con 17.01% (4.34 $t \cdot ha^{-1}$), Especies arbóreas de sombra con 12.93% (3.3 $t \cdot ha^{-1}$), Hojarascas con 8.46% (2.16 $t \cdot ha^{-1}$) y herbáceas con 0.23% (0.06 $t \cdot ha^{-1}$) respectivamente. Por otro lado, la capacidad de los agroecosistemas para almacenar carbono en forma de biomasa aérea, varía en función de la edad, diámetro, altura de los componentes arbóreos, la densidad de la población de cada estrato y de la comunidad vegetal (Alegre *et al.*, 2000) mencionado por Diaz *et al.*, (2016).

Los estudios de biomasa son importantes para comprender el ecosistema forestal, ya que explican la distribución de la materia orgánica en el sistema y permiten evaluar los efectos de una intervención, respecto a su equilibrio en el ecosistema (Somarriba, 1986).

Los contenidos de carbono en el suelo dependen de los principales factores a largo plazo relacionados con la formación del suelo, pero pueden ser fuertemente modificados - degradados o mejorados por los cambios en el uso y el manejo de la tierra FAO (2002).

Lapeyre (2004), citado por Vílchez (2014), quien realizó su evaluación en San Martín, evaluó un sistema de cacao en la localidad de Cachiyacu, cerca al río Cumbaza, en la ciudad de Tarapoto, la edad promedio del sistema fue de 15 años, con especies de sombra de edades entre 15 y 20 años, como lo son la guaba (*Inga edulis*), pumaqui (*Simira* sp.), bolaina blanca (*Guazuma crinita*), bolaina negra (*Guazuma umifolia*), shimbillo blanco (*Inga* sp.), el cacao presentó un distanciamiento del 4X 4 metros, dicho sistema acumuló una reserva de 47 t C/ha, los cuales arrojaron valores superiores a los sistemas agrícolas que evaluó (arroz, maíz, pastos, café - guaba). El flujo encontrado para este sistema de

cacao fue de 3.15 t C/ha/ año, valor muy cercano al promedio de los flujos encontrados en la presente tesis, que fue de 3.63 t C/ha/año. Por otro lado, Alegre *et al.*, (2001), determinó que el sistema de 20 años de cacao localizado en Pucallpa fijó 200 t C /ha⁻¹. Con un flujo encontrado de 2.3 t C /ha⁻¹ /año, valor inferior al promedio de los flujos encontrados en la presente tesis, 3.63 t C/ha⁻¹/año. En tal sentido los sistemas de cacao con especies forestales maderables y frutales, presentaron una mayor acumulación de carbono almacenado en la biomasa aérea arbórea, a su vez dichas sombras permanentes favorecen de manera constante la presencia de abundante hojarasca, funcionando como principal agente de reciclaje, conservación del suelo y excelente controlador de maleza.

Bartra (2011), en la tesis “Cuantificación de biomasa y reserva de carbono en dos sistemas de producción de cacao (*Theobroma cacao* L.), en el campo experimental El Chocliño, Banda de Shilcayo - San Martín”, ejecutado en la provincia y departamento de San Martín, muestran que el carbono total obtenido por el sistema de bosque raleado de producción de cacao fue de 187.55 t.ha⁻¹ y el carbono total obtenido por el sistema tradicional (rozo, tumba y quema) de producción de cacao fue de 139.36 t.ha⁻¹, el total encontrado se aproxima al obtenido en el trabajo de investigación que es un total 104.84 t.ha⁻¹ de carbono en el agroecosistema evaluado.

El CATIE (2008), afirma que, los sistemas agroforestales pueden fijar y almacenar entre 12 y 228 t.ha⁻¹ de Carbono, incluyendo el carbono orgánico del suelo, lo cual representa entre el 20 y 46% del carbono secuestrado en bosques primarios.

3.2. Biomasa aérea en kg.ha⁻¹ en el agroecosistema

Tabla 5:
Análisis de la Varianza para la biomasa aérea en kg.ha⁻¹

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloques	545 321.97	2	272 660.99	0.82	0.4854 N.S.
Tratamientos	11 388 599.50	3	3 796 199.83	11.38	0.0069 **
Error	2 001 677.23	6	333 612.87		
Total	13 935 598.70	11			

R²= 86,0% C.V.= 60,54%

El análisis de varianza (Tabla 5) determinó que en la fuente de variabilidad Tratamientos al menos uno de ellos fue diferente estadísticamente a una $P < 0.01$ con un Coeficiente de Determinación (R^2) de 86.0% y un Coeficiente de Variabilidad (C.V.) de 60.54%.

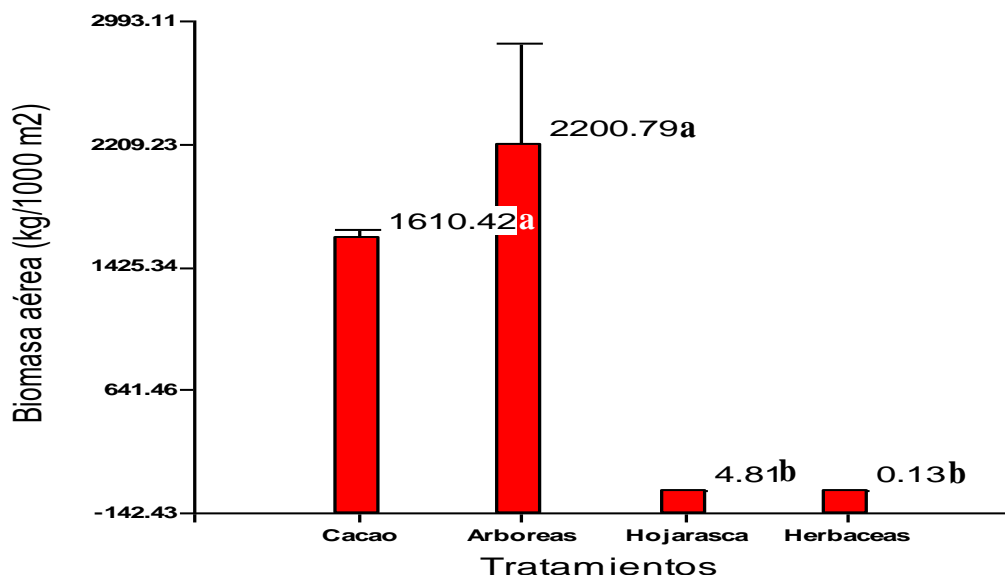


Figura 10: Prueba de Rangos múltiples de Duncan (Alfa=0.05) para promedios de la biomasa aérea en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$

En la Figura 10, se aprecia que en las especies arbóreas de sombra (T2) y el cultivo de Cacao (T1) se concentraron los mayores concentraciones de biomasa aérea con 2 200.79 y 1 610.42 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ respectivamente siendo estadísticamente iguales entre sí y superando estadísticamente a la Hojarasca (T3) y a las Herbáceas (T4) quienes alcanzaron promedios de 4.81 y 0.13 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de biomasa respectivamente; demostrando que en la especies arbóreas se concentró la mayor cantidad de biomasa aérea, representado este el 57.67% (2 200.79 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), seguido del cultivo de cacao con 42.2% (1 610.42 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), Hojarascas con 0.12% (4.81 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) y Herbáceas con 0.003% (0.13 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) respectivamente.

Vílchez (2014), en el trabajo de investigación “Cuantificación de biomasa y carbono secuestrado en un sistema agroforestal de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Tarapoto, San Martín”, reporta resultados similares, dando a conocer que el mayor contenido de biomasa se encontró en la hojarasca con 38.71 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$, seguido de las especies arbóreas vivas con 10.34 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$, los árboles caídos muertos con 7.34 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ y arbustivas/herbáceas con 1.95 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Respecto al contenido total promedio de

biomasa aérea (58.54 t.ha^{-1}) encontrado en el sistema agroforestal con cacao, el 66.12% se encontró en la hojarasca por efecto de abscisión de las hojas del cacao, 17.66% las especies arbóreas vivas, 12.54% en árboles caídos muertos y 3.33% en las especies arbustivas y herbáceas encontradas en el sistema evaluado.

También Larrea (2007), da a conocer en el trabajo de investigación “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”, realizado en la provincia de Mariscal Cáceres, región de San Martín, donde evaluó tres sistemas de 3 años, dos de 6 años y dos de 8 años de edad del cultivo principal es el cacao, encontrando que los sistemas de cacao con especies forestales maderables y frutales, presentaron una mayor acumulación de carbono almacenado en la biomasa aérea arbórea, a su vez, estos favorecen de manera constante la presencia de abundante hojarasca; corroborando que un agroecosistema de cacao como el que se evaluó en el presente trabajo de investigación, produce gran cantidad de hojarasca y por lo tanto generará la mayor cantidad de carbono en este componente.

Carbono en el suelo la FAO (2002), señala que existen un cierto número de prácticas agrícolas que son conocidas por su estímulo a la acumulación adicional de carbono en el suelo con el consecuente mejoramiento de su fertilidad y efectos positivos sobre la productividad y el ambiente. Su contribución para el manejo del carbono por parte del hombre es probable que se incremente a medida que se conocen más detalles de sus características y que se apliquen nuevos enfoques, por ejemplo, la labranza de conservación. Las principales formas de obtener un incremento de la materia orgánica en el suelo están asociadas a la agricultura de conservación y comportan la labranza mínima o cero y el uso de una cobertura vegetal continua y protectora formada por materiales vegetales vivos o muertos sobre la superficie del suelo FAO (2002). En el lugar de evaluación se observó gran cantidad de hojarasca, lo que sugiere que probablemente la mineralización esté siendo condicionada por la humedad del sitio.

3.3. Contenido de C en el suelo en t.ha⁻¹

Tabla 6:

Análisis de la Varianza para el contenido de C en el suelo en t.ha⁻¹

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloques	14.39	2	7.20	0.35	0.7270 N.S.
Tratamientos	1 212.14	2	606.07	29.11	0.0041 **
Error	83.29	4	20.82		
Total	1309.82	8			

R²= 94,0% C.V.= 29,17%

El análisis de varianza (Tabla 6) determinó que en la fuente de variabilidad Tratamientos al menos uno de ellos fue diferente estadísticamente a una P<0.01 con un Coeficiente de Determinación (R²) de 94.0% y un Coeficiente de Variabilidad (C.V.) de 29.17%.

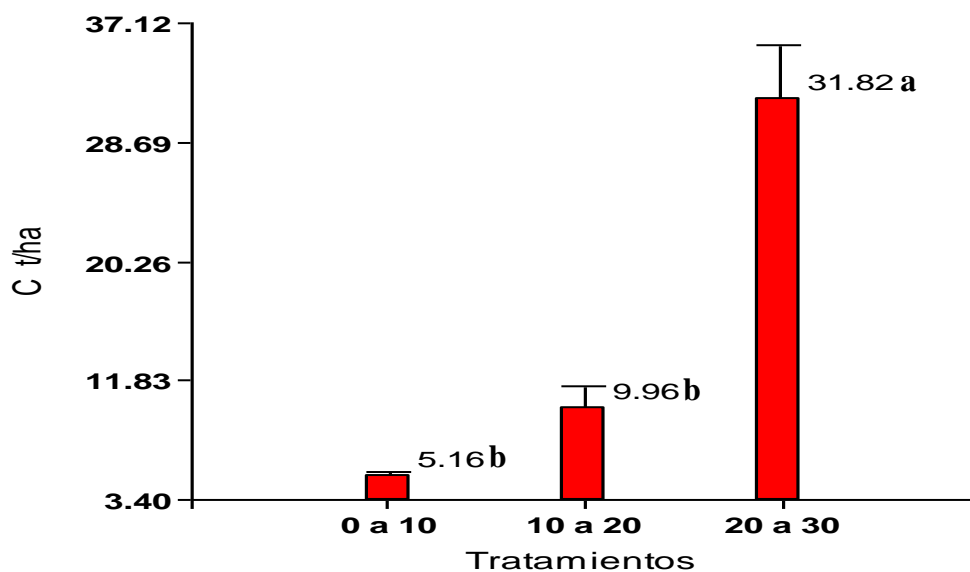


Figura 11: Prueba de Rangos múltiples de Duncan (Alfa=0.05) para promedios del contenido de C en t.ha⁻¹ en tres profundidades del suelo.

En la Figura 11, se aprecia que a una profundidad de 20 a 30 cm (T3) en contenido de C fue mayor con 31.82 t.ha⁻¹ y el cual superó al T2 (10 a 20 cm) y T1 (0 a 10 cm) quienes alcanzaron promedios de 9.96 y 5.16 t de C.ha⁻¹ respectivamente, pudiéndose apreciar que en el agroecosistema estudiado a una profundidad de 20 a 30 cm se concentró un 67.79% (31.82 t.ha⁻¹), seguido de 10 a 20 cm con 21.21% (9.96 t.ha⁻¹) y de 0 a 10 cm con 10.99% (5.16 t.ha⁻¹) respectivamente.

El carbono orgánico presente en el suelo representa un balance dinámico entre la absorción de material vegetal muerto y la pérdida por descomposición (mineralización). La información sobre stock de carbono en el suelo es importante para la elaboración de la línea de base. Entre tanto, la dinámica del carbono del suelo en el tiempo es difícil de ser estimada y los altos costos de medición muchas veces son incompatibles con los beneficios recibidos por proyectos de pequeñas propiedades rurales Rüginitz *et al.*, (2009).

El método más comúnmente aplicado es la determinación del carbono orgánico total a diferentes profundidades o globalmente para uno o más horizontes y transformar los datos tomando en consideración la densidad y la pedregosidad del suelo. Las estadísticas se calculan sobre diferentes muestras para determinar las existencias de carbono. Los resultados pueden ser expresados en kg/cm², t/ha o Gt (Pg) totales sobre áreas especificadas y a varios rangos de profundidad FAO (2002).

Vilchez (2014), encontró que no existe una secuencia lógica del contenido de carbono por horizonte en relación al % de carbono orgánico y % de materia orgánica, no implica una relación lógica en función de la profundidad del suelo sino de su densidad aparente; evaluó a mayores profundidades, determinando que a una profundidad entre 40 y 100 cm arrojó un contenido de 23.88 tn.ha⁻¹ de C, seguido del horizonte entre 0 y 10 cm con 14.098 tn.ha⁻¹ de C, el horizonte entre 20 y 40 cm 12.035 tn.ha⁻¹ de C y el horizonte entre 10 y 20 cm con un promedio de 8.383 tn.ha⁻¹ de C total en el suelo respectivamente.

Larrea (2007), explica este hecho a la formación de complejos establecidos entre el carbono y la fase mineral del suelo depende del contenido de arcillas en el suelo. Los suelos arenosos carecen de la capacidad de absorción por su estructura atómica y es posible lograr la absorción y estabilización del carbono en ellos, pero los suelos en su mayoría arcillosos tienen una capacidad determinante en la absorción del carbono.

Esto se verifica mediante el análisis de suelo realizado, de las muestras del agroecosistema, que determina la predominancia de una textura arcillosa, en las diferentes profundidades evaluadas.

La tendencia mostrada fue una disminución del carbono orgánico conforme aumenta la profundidad del suelo (Solís *et al.*, 2014).

Los flujos entre el carbono orgánico del suelo o terrestre y la atmósfera son importantes y pueden ser positivos bajo la forma de captura o negativos como emisión de CO₂. Las existencias de carbono orgánico presente en los suelos naturales representan un balance dinámico entre la absorción de material vegetal muerto y la pérdida por descomposición (mineralización) FAO (2002).

El alto contenido de carbono orgánico en el suelo promedio en el agroecosistema de cacao, puede estar influenciado por la densidad de plantas por hectárea de cacao, y principalmente, el manejo adecuado de la plantación: podas, prácticas de conservación de suelo que permiten mayor acumulación de carbono en el perfil del suelo. El incremento del carbono orgánico en el suelo se debe principalmente a la caída de hojarasca de las diversas especies vegetales y mortalidad y exudación de las raíces finas, lo cual depende de la distribución y actividad de las raíces Alvarado *et al.*, (2013).

El agroecosistema del cultivo de cacao promueve el reciclaje de los nutrientes en el suelo, ya que el aporte de materia orgánica por parte de las hojas que este deposita sobre el suelo, más la de los árboles de sombra y posteriormente la incorporación de los residuos de cosecha es considerablemente alta, esto favorece la activación de los procesos microbiológicos del suelo (López *et al.*, 2007) mencionado por Alvarado (2016).

Thornley y Cannell (2000) mencionados por Solís *et al.*, (2014), establecen que las buenas prácticas de manejo forestal juegan un papel muy importante en la cantidad y calidad de la materia orgánica del suelo, en las velocidades de descomposición y en los procesos de estabilización del carbono orgánico del suelo, por lo que hay mayor potencial de almacenamiento de carbono orgánico en el suelo cuando se siguen programas de manejo en los que se mantiene la cubierta forestal y se simula un comportamiento natural del bosque.

Albanesi *et al.*, (2003) mencionado por Solís *et al.*, (2014) señalan que los cambios de carbono orgánico del suelo dependen de su tipo, la posición topográfica del terreno, calidad y cantidad de vegetación producida e incorporada al suelo tanto en forma natural como al momento de realizar las actividades de preparación del suelo incorporando desmontes, aprovechamientos de residuos; por lo que en sitios de buena calidad se espera que su contenido sea mayor.

CONCLUSIONES

- ✓ De todos los componentes del agroecosistema, en el suelo se encontró la mayor cantidad de carbono orgánico con 15.65 t.ha^{-1} (61.35%); en el cultivo de cacao 4.34 t.ha^{-1} (17.01%), en otras especies arbóreas 3.30 t.ha^{-1} (12.94 %), en la hojarasca 2.16 t.ha^{-1} (8.47%) y en la biomasa herbácea se encontró la menor cantidad de carbono orgánico 0.06 t.ha^{-1} (0.23%), haciendo un total de 25.51 t.ha^{-1} de carbono orgánico en el agroecosistema evaluado.
- ✓ Las especies arbóreas reportaron el mayor contenido de biomasa aérea $2\,200.79 \text{ kg.ha}^{-1}$ (57.67%), seguido del cultivo de cacao con 42.2% ($1\,610.42 \text{ kg.ha}^{-1}$), hojarascas con 0.12% (4.81 kg.ha^{-1}) y herbáceas con 0.003% (0.13 kg.ha^{-1}) respectivamente.
- ✓ La mayor acumulación de carbono orgánico encontrado fue a una profundidad de 20-30 cm concentró un 67.79% (31.82 t.ha^{-1}), seguido de 10 a 20 cm con 21.21% (9.96 t.ha^{-1}) y de 0 a 10 cm con 10.99% (5.16 t.ha^{-1}).

RECOMENDACIONES

- ✓ Incorporar en el agroecosistema de cacao especies forestales y frutales que coadyuvan al incremento de la presencia de carbono orgánico, y de acuerdo a los resultados obtenidos, el aporte de carbono orgánico del cultivo de cacao no es muy considerable, y adicionalmente permitirá obtener ingresos económicos, permitiendo dinamizar la fijación de carbono con fines de venta de Créditos de Carbono.

- ✓ Para una mejorar la asertividad en la estimación de carbono en futuros proyectos de captura de carbono, se sugiere utilizar ecuaciones alométricas para cada una de las especies vegetales y del cacao en particular.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, J; Andrade. H; Segura, M. (2013). *Almacenamiento de carbono orgánico en suelos en sistemas de producción de café (Coffea arabica L.) en el municipio del líbano, Tolima, Colombia*. Artículo de investigación
- Acosta, M; Vargas. A; Velásquez J; Etchevers, B. (2002). *Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México*. *Agrociencia* 36 (6), 725-736.
- Andrade, H; Ibrahim, M. (2003). *Cómo monitorear carbono en sistemas silvopastoriles Agroforesteria en las Américas* 10: 109-116.
- Alegre, J., Arévalo, L. y Palma, C. (2001). *Manual - Reservas de Carbono y emisión de gases con diferentes sistemas de uso de la tierra en dos sitios en la Amazonía peruana*. Gráfica San miguel. Lima – Perú.
- Alegre, J.; Arévalo, L., Ricse, R. (2002). *Reservas de carbono con diferentes sistemas de uso de la Tierra en dos sitios de la Amazonia Peruana*. ICRAF/INIA. Perú. (<http://www.virtualcentre.org/es/ele/conferencia2/vbconfe7.htm>).
- Alvarado, C. (2016). Efecto de la fertilización orgánica e inorgánica, en el rendimiento de un clon de cacao (*Theobroma cacao L.*) y en la fertilidad del suelo.
- Araujo T; Higuchi & J. de Carvalho (1999). *Comparison of formula for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Paraná*. Brazil. *Forest Ecology and Management* 117, 43-52 pp.
- Arévalo, L., Alegre, J., Palm, C. (2003). *Manual de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la Tierra en Perú*. Publicación de STC - CGIAR Ministerio de agricultura. Pucallpa, Perú. 24 pp.
- Aristizabal, H; Guerra, M. (2002). *Estimación de la tasa de fijación de carbono en el sistema agroforestal nogal cafetero (Cordia alliodora) – cacao (Theobroma cacao L.) – Plátano (Musa paradisiaca)*. Tesis de grado Ingeniero Forestal. Bogota D.C. Universidad Distrital Francisco José de Calcas. 124 pp.

- Beer, J.; Harvey, C.; Ibrahim, M.; Harmand, J.; Somarriba, E.; Jiménez, F. (2003). *Servicios ambientales de los sistemas agroforestales*. Agroforestería en las Américas, 10 (37-38), 80-87 pp.
- Brown, S. (1997). *Los bosques y el cambio climático: el papel de los terrenos forestales como sumideros de carbono en el congreso Forestal Mundial (1997, TR)*. Turquía, Ministerio Forestal. p.107-128.
- Brown, S. (2001). *Measuring carbon in forests: current status and future challenges*. *Environ. Poll.* 116, 363-372 pp.
- Bruckman, W. y Ramos, E. (2009). El Sol y el clima en la Tierra. Revista Umbral, Ed. 1. Universidad de Puerto Rico en Humacao. Puerto rico.
- Budowski B. (1999). *Secuestro de carbono y gestión forestal en América Tropical*. *Bosques y Desarrollo*. 20(21), 17-20 pp.
- Camps, M.; Pinto, M. (2006). *Los sumideros de carbono en el marco del Protocolo de Kioto*. *Edafología*, 11(1), 31 pp.
- Consejo Nacional del Ambiente. (2001). *Comunicación Nacional del Perú para la Convención de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático* (Consejo Nacional del Ambiente, Lima).
- Concha, J.; Alegre, J.; Pocomucha, V. (2007). *Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de Theobroma cacao L. en el departamento de San Martín, Perú*. *Ecología Aplicada*, 6(1-2), 75-82.
- CEPAL (Comision Economica para America Latina y el Caribe) (2009). *Cambio climático y desarrollo en America Latina y el Caribe: una reseña*. Santiago, Chile, CEPAL. 148 pp.
- Córdova, P; Olán, O; Garcia, E; Carrillo, E; Sanchez, S; Guerrero, A; Ortiz, C. (2017). *Evaluación del sistema agroforestal cacao (Theobroma cacao L.) mediante indicadores de calidad de suelo en Tabasco, México*. *Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 12, diciembre. 2017. pp: 36-42.*

- Dixon, R; (1995). *Agroforestry systems: sources or sinks of greenhouse gases?* Agroforestry Systems 31: 99-116.
- Diaz, P; Garcia, T; Tello, C. (2016). *Carbono almacenado en cinco sistemas de uso de tierra, en la región San Martín Perú.* Revista internacional de Desarrollo regional sustentable vol. 1
- Eamus, K., Guinness, M & Burrows, W. (2000). *Review of allometric relationships for estimating woody biomass for Queensland, the northern territory and Western Australia.* National Carbon Accounting System. Australia.
- Euguren, L. (2004). *El mercado de carbono en América Latina y el Caribe: balance y perspectivas.* Santiago, Chile, CEPAL. 83 pp.
- Estrada, H. (2014). *Informe de investigación. conferencia de Naciones Unidas sobre cambio climático Perú: Sede de la conferencia de las partes – COP 20*
- Francis, J. K. (2000). *Estimating biomass and carbon content of saplings in Puerto Rican secondary forests.* Caribbean Journal of Science 36 (3-4), 346-350 pp.
- Franco, S. (2007). *Estimación de valor económico del servicio ambiental de captura de carbono en los bosques templados del Estado de México.* La captura de carbono en ecosistemas terrestres Iberoamericanos. México. 160 pp.
- Farfán V. (2014). *Agroforestería y sistemas Agroforestales con café.* Manizales, Caldas (Colombia), 342 p.
- Fundación Solar, GT. (2000). *Elementos técnicos para inventarios de carbono en uso del suelo.* Guatemala. 32 pp.
- Gayoso, J; Guerra, J. (2005). *Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile.* Bosque 26 (2). 33 – 38 pp.
- González, M. (2008). *Estimación de la biomasa aérea y la captura de carbono en regeneración natural de pinus maximinoi h. e. moore, pinus oocarpa var. ochoterenai mtz. y quercus sp en el norte del estado de Chiapas, México.* Tesis

(*Magister Scientiae*). En Manejo y Conservación de Bosques Naturales y Biodiversidad. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica.

Grier, C. y Logan, R. (1978). *Oldgrowth Douglas-fir communities of a western Oregon watershed: biomass distribution and production budgets*. *Ecol. Monogr.* 47 (4), 373 – 400 pp.

INE (Instituto Nacional de Ecología, Mx) (2005). *México (en línea)*. *Revista El Carbono* n°3:11-18. Consultado 16 de mar 2017]. Disponible en <http://www.ine.gob.mx/>. Documento pdf.

Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC). (2000). *Land Use, Change and Forestry*. Cambridge University Press. Cambridge, Reino Unido. EIA, (www.eia.doe.gov/emeu/iea/carbon.html). Acceso: 25/06/2017.

IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change). (2006). *Glosario del IPCC para el Cambio Climático*. Consultado 3/julio/2017. Disponible en <http://www.greenfacts.org/es/cambio-climatico/toolboxes/glossary.htm>.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007). *Synthesis report: Climate change*. Ginebra, Suiza. 52 pp.

Ketterings, Q., Coe, R, Van Noordwijk M., y. Ambagau & C. Palm. (2001). *Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests*. *For. Ecol. Manage.* 146, 199 – 209 pp.

Kirklund, B. (1990). *Como pueden contribuir los bosques y las industrias forestales a reducir el exceso de anhídrido carbónico en la atmósfera*. *Unasyuva* n°. 163:12-14 pp.

Larrea, C; (2007). *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*.

- Lapeyre T., Alegre J., Arévalo L. (2009). *Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú*. *Biología Aplicada* 3: 35-44.
- Lino, K. (2009). *Determinación del stock de biomasa y carbono en las sucesiones secundarias de bolaina en la cuenca media del río Aguaytía, Ucayali, Perú*. Tesis (Ingeniera Forestal). Universidad Nacional de Ucayali. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Pucallpa. 70 pp.
- López R. (1988). *Modelos para estimación de biomasa de Pinus cembroides Zucc.* Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Macdiken, K. (1997). *A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects*. Arlington, VA, Winrock International Institute for Agricultural Development. 45 pp.
- Malhi y J. Grace. (2000). *Tropical forests and atmospheric carbon dioxide. Trends in Ecology and Evolution* 15(8), 332-336 pp.
- Marcote, Benito. (2009). *La actividad solar y su efecto sobre el clima terrestre*. España.
- Martínez, C, Espinal G; Ortiz Hermida, L. (2005). *La cadena del cacao en Colombia: una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005* (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Bogotá DC).
- Martínez, E; Fuentes, J; Acebedo, E. (2010). *Carbono orgánico y propiedades del suelo*. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Producción Agrícola
- Montoya, G. y Tipper, R. (1995). *Cuadernos de trabajo 4: Desarrollo forestal sustentable: Captura de carbono en las zonas tzeltal y tojolabal del estado de Chiapas*. Instituto Nacional de Ecología. México. 50 pp.
- Muños, M. (2006). *Dinámica del Carbono Orgánico del Suelo en Ecosistemas de la Zona Mediterránea de Chile*. Para optar al Grado Académico de Doctor en Ciencias de Recursos Naturales, Temuco - Chile Pág. 44 – 45

- Nelson, B; Mezquita, R; Pereira, J; Aquino, S; Teixeira, G; Bovino, L. (1999). *Alometric regressions for improved estimate of secondary y forest biomass in the central Amazon*. Forest Ecology and Management. 117: 149-167.
- Odar, B. (2018). *Tesis, Evaluación de almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café (Coffea spp.) en el anexo de Vilaya, distrito de Colcamar, Provincia de Luya, Amazonas, 2017-2018*, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.
- 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
- Ordoñez, J. (1999). *Captura de Carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán*. México, Instituto Nacional de Ecología 81 pp.
- Ortiz, A. y Riascos, L. (2006). *Almacenamiento y fijación 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.
- Parresol, B. (1999). *Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons*. Forest Science 45 (4), 573 - 593 pp.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (1998). *La lucha contra el cambio climático: El compromiso del Parlamento Latinoamericano*. Buenos Aires, Argentina. 174 pp. (Serie de Ciudadanía Ambiental).
- Quiñe M., y Chappa S. (2009) “*Cuantificación de Biomasa y Reserva de Carbono en Sistemas Agroforestales de Café (Coffea arabica L.) en dos pisos altitudinales*”. Tesis de pregrado. FCA de la UNSM-Tarapoto. 96 p.
- Ramos, R. (2003). *Fraccionamiento del carbono orgánico del suelo en tres tipos de uso de la tierra en fincas ganaderas de San Miguel de Barranca, Puntarenas-Costa Rica*. Tesis MSc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 112 p.

- Rodríguez B. y Mance, H. (2009). *Cambio climático: lo que está en juego*. Foro Nacional Ambiental. Bogotá – Colombia.
- Rojas, J.; Ibrahim, M.; Andrade, H. (2009). *Secuestro de carbono y uso de agua en sistemas silvopastoriles con especies maderables nativas en el trópico seco de Costa Rica*. Revista Corpoica: Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 10(2), 214-223.
- Rügnitz T., León, M y Porro, R. (2009). *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales*. Manual técnico 11, Centro Mundial Agroforestal (ICRAF)/ Consorcio Iniciativa Amazónica (IA). Lima, Perú.
- Ruiz- C.; Rodríguez, G.; Leyva J.; Enríquez, R. (2014). *Metodologías para estimar biomasa y carbono en especies forestales de México*. naturaleza y desarrollo vol. 12 núm. 1 enero - junio 2014. 28 – 45 pp.
- Schlegel B., Gayoso, J y Guerra, J. (2000). *Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial: Manual de procedimientos: Muestreos de biomasa forestal*. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile.
- Segura, M. (1997). *Almacenamiento y fijación de carbono en Quercus costaricensis, en un bosque de altura en la cordillera de Talamanca, Costa Rica*. Tesis Lic. Cs. For. Heredia, Costa Rica, CATIE. 83 pp.
- SIFEM (Dirección Nacional de Políticas de Seguridad y Protección Civil, AR). (2000). *Cambio climático* (en línea). Argentina. Consultado 8 mayo 2009. Disponible en <http://www.proteccioncivil.gob.ar/calentamiento.html>
- Somarriba, E; Beer, J. (1986). *Dimensiones, volúmenes y crecimiento de Cordia alliodora en sistemas agroforestales*. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 23 pp. (Boletín Técnico no 16).
- Somarriba, E; Harvey, C. (2003). *Cómo integrar producción sostenible y conservación de biodiversidad en cacaotales orgánicos indígenas*. Agroforestería en las Américas 10 (37-38): 12-17 pp.

- Snowdon P., Raison, J; Keith, H; Montagu, K, Ritson, P.; Grieson, M. Adams, W. Burrows & D. Eamus. (2001). *Protocol for sampling tree and stand biomass*. National Carbon Accounting System technical report, n° 31. Australia.
- Solís. A; Nájera. J; Méndez. J; Vargas. B; Álvarez. M. (2014). *Carbono orgánico del suelo en rodales silvícolas del ejido la Victoria, Pueblo Nuevo, Durango*. Investigación y Ciencia, vol. 22, núm. 63. Aguascalientes, México.
- Valera, R. (2013). Tesis: pregrado, *Determinación de la influencia de las condiciones climáticas en la captura de carbono en un sistema Theobroma sp "cacao" con sombra en Alto el Sol- Pachiza -2012*. Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto- Facultad de Ecología.
- Vílchez, E. (2014). Tesis pregrado. cuantificación de biomasa y carbono secuestrado en un sistema agroforestal de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Tarapoto - San Martín. Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto- Facultad de Ciencias Agrarias.

ANEXOS



INSTITUTO DE CULTIVOS TROPICALES
 INVESTIGACION Y EXTENSION AGRICOLA PARA EL DESARROLLO DE LA AMAZONIA PERUANA
 CERTIFICADO INDECOP Nº 0007218
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS, FERTILIZANTES Y ALIMENTOS

REPORTE DE ANÁLISIS DE SUELOS

Nº SOLICITUD : AS0091-2018
 SOLICITANTE : EMILIANO JIMENEZ HERRERA
 PROCEDENCIA : SAN MARTIN - SAN MARTIN - MORALES - MAYOPAMPA
 CULTIVO : CACAO

FECHA DE MUESTREO : 23/10/2018
 FECHA DE RECEP. LAB : 26/10/2018
 FECHA DE REPORTE : 27/10/2018

Item	Número de muestra		ANÁLISIS MECÁNICO			CLASE TEXTURAL	Densidad aparente g/cm ³	M.O %
	Lab.	Campo	Arena	Limo %	Arcilla			
1	18	528	23.52	65.28	11.20	Fra-Lim	1.40	3.19
2	18	529	19.52	69.28	11.20	Fra-Lim	1.39	1.99
3	18	530	19.52	69.28	11.20	Fra-Lim	1.39	0.45
4	18	531	23.52	65.28	11.20	Fra-Lim	1.40	3.56
5	18	532	15.52	73.28	11.20	Fra-Lim	1.38	1.48
6	18	533	21.52	67.28	11.20	Fra-Lim	1.39	0.46
7	18	534	17.52	69.28	13.20	Fra-Lim	1.38	3.15
8	18	535	19.52	69.28	11.20	Fra-Lim	1.39	1.88
9	18	536	19.52	69.28	11.20	Fra-Lim	1.39	0.36

Métodos :
 TEXTURA : HORNOMÉTRICO
 DENSIDAD APARENTE : CÁLCULO
 Nota: El laboratorio no se responsabiliza por la metodología aplicada para la toma de la muestra del presente reporte.

La Banda de Shilcayo, 27 de Octubre del 2018

INSTITUTO DE CULTIVOS TROPICALES
 TRAPAYO PERÚ
 Enrique Arevalo Dardini, Ph. D.
 COORDINADOR GENERAL