

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**ESCUELA ACADÉMICA DE CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**



**ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN EL SUELO EN DOS TIPOS DE  
SISTEMAS AGROFORESTALES CACAO (*Theobroma cacao* L.) Y CAFÉ  
(*Coffea arábica* L.) EN HERMILIO VALDIZAN**

**Tesis**

**Para optar el título de:**

**INGENIERO EN CONSERVACION DE SUELOS Y AGUA**

**RUBEN ANTONIO JARA SANCHEZ**

**Tingo María – Perú**

**2016**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
Tingo María – Perú



**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

## **ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

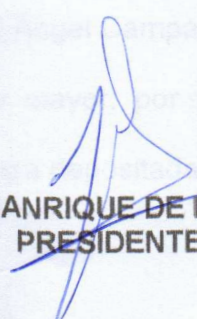
Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 10 de enero de 2017, a horas 7:00 p.m. en la Sala de Sesiones de la Escuela Profesional de Conservación de Suelos y Agua, para calificar la Tesis titulada:

### **“ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN EL SUELO EN DOS TIPOS DE SISTEMAS AGROFORESTALES CACAO (*Theobroma cacao* L.) Y CAFÉ (*Coffea arábica*) EN HERMILIO VALDIZAN”**

Presentado por el Bachiller: **RUBEN ANTONIO JARA SÁNCHEZ**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobado con el calificativo de **“MUY BUENO”**

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título de **INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para la otorgación del Título correspondiente.

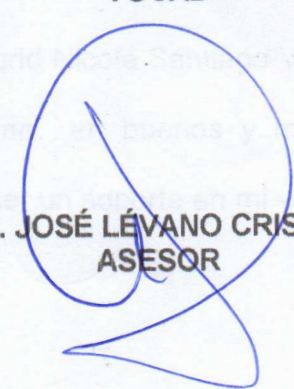
Tingo María, 01 de diciembre de 2017.

  
**Dr. LUCIO MANRIQUE DE LARA SUÁREZ**  
**PRESIDENTE**

  
**Ing. Mg. WILFREDO ALVA VALDIVIEZO**  
**VOCAL**

  
**Ing. JAIME TORRES GARCÍA**  
**VOCAL**



  
**Ing. MSc. JOSÉ LÉVANO CRISÓSTOMO**  
**ASESOR**

## DEDICATORIA

A Dios; por la fortaleza de siempre,  
permitiéndome llegar a este momento  
tan importante en mi vida. Por los  
triumfos y momentos difíciles que me  
han enseñado a valorar cada día más.

A mis queridos padres Ruben Jara  
Upiachihua y Genith Crucila Sánchez  
de Jara; por haberme apoyado en  
todo momento, por sus consejos, sus  
valores, por la motivación constante  
que me ha permitido ser una persona  
de bien, por el valor mostrado para  
salir adelante.

A Miguel Ángel Campana Sánchez, mi  
hermano mayor, por su cariño, apoyo  
y confianza depositada en mí.

A mi novia Ingrid Nicole Santiago Valle;  
por apoyarme en buenos y malos  
momentos y ser un soporte en mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi alma mater; Universidad Nacional Agraria de la Selva, por su contribución en mi formación profesional.

Al Ing.MSc. Levano Crisostomo, José D.; asesor de la presente tesis por brindarme su amistad y asesoramiento en el desarrollo científico y académico del presente trabajo de investigación.

A los miembros del jurado de tesis; Ing. MSc. Manrique De Lara Suarez, Lucio; Ing. MSc. Alva Valdiviezo, Wilfredo y al Ing. Torres García, Jaime; por sus oportunas sugerencias.

A los docentes de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, quienes me formaron con sus enseñanzas teóricas y prácticas a lo largo de mi carrera universitaria.

Al Ing. MSc. Durand Chávez, Gerson L.; por brindarme su amistad, su apoyo incondicional y la supervisión de la presente tesis.

A mis amigos Denys Infante, Alejandra Figueredo, Pedro Angulo, Jampier Ibañez, Sergio Malpartida, Marco Fernández, Rolando Murrieta, Guinin Montenegro, Marlon Cruz, Antony Quispilaya, Samuel Infante y mi hermano en Cristo Juan Alcedo; con quien al paso de los años seguimos con esa incondicional amistad.

A todas las personas que apoyaron en forma directa o indirecta, la ejecución del presente estudio, a todos, Muchas Gracias.

## ÍNDICE

|                                                                         | Página |
|-------------------------------------------------------------------------|--------|
| I. INTRODUCCIÓN.....                                                    | 1      |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA .....                                        | 4      |
| 2.1. El carbono .....                                                   | 4      |
| 2.2. Almacenamiento y fijación de carbono .....                         | 5      |
| 2.3. Adiciones a la atmosfera.....                                      | 6      |
| 2.4. El cambio climático.....                                           | 7      |
| 2.5. Opciones de mitigación al cambio climático .....                   | 7      |
| 2.6. Importancia de los bosques en la fijación de CO <sub>2</sub> ..... | 9      |
| 2.7. Estructura física del suelo .....                                  | 15     |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS .....                                         | 19     |
| 3.1. Lugar de ejecución .....                                           | 19     |
| 3.1.1. Ubicación geográfica .....                                       | 19     |
| 3.1.2. Ubicación política.....                                          | 19     |
| 3.1.3. Ubicación ecológica.....                                         | 20     |
| 3.2.4. Características generales de la zona.....                        | 20     |
| 3.4.1.Clima.....                                                        | 20     |
| 3.4.2.Fisiografía.....                                                  | 20     |
| 3.2. Tipo de investigación.....                                         | 21     |
| 3.3. Característica del sistema agroforestal .....                      | 21     |

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.4. Metodología .....                                                             | 22 |
| 3.4.1. Fase inicial de gabinete .....                                              | 23 |
| 3.4.1.1. Estratificación del área.....                                             | 23 |
| 3.4.1.1. Diseño de muestreo .....                                                  | 23 |
| 3.4.2. Fase de campo .....                                                         | 24 |
| 3.4.2.1. Obtención de la muestra de suelo .....                                    | 24 |
| 3.4.2.2. Obtención de muestras para el cálculo de<br>densidad aparente .....       | 25 |
| 3.4.2.3. Obtención de la muestra de hojarascas.....                                | 26 |
| 3.4.2.4. Obtención de la muestra de raíces .....                                   | 26 |
| 3.4.3. Fase de Laboratorio.....                                                    | 27 |
| 3.4.3.1. Obtención de datos de carbono almacenado<br>en suelo .....                | 27 |
| 3.4.3.2. Obtención de datos de carbono en hojarascas .....                         | 27 |
| 3.4.3.3. Obtención de datos de carbono en raíces<br>finas .....                    | 28 |
| 3.4.4. Fase final de gabinete .....                                                | 28 |
| 3.4.4.1. Cálculos para la obtención de carbono<br>almacenado en el suelo .....     | 27 |
| 3.4.4.2. Cálculos para la obtención de carbono<br>almacenado en hojarascas .....   | 30 |
| 3.4.4.3. Cálculos para la obtención de carbono<br>almacenado en raíces finas ..... | 30 |
| 3.5. Variables independientes .....                                                | 31 |

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.6. Análisis estadístico.....                                                                 | 31 |
| 3.7. Variables dependientes.....                                                               | 31 |
| IV. RESULTADOS .....                                                                           | 32 |
| 4.1. Propiedades físicas y químicas de los suelos en los sistemas .....<br>agroforestales..... | 32 |
| 4.2. Carbono almacenado en el suelo.....                                                       | 36 |
| 4.3. Carbono almacenado en hojarasca.....                                                      | 38 |
| 4.4. Carbono almacenado en raíces finas .....                                                  | 40 |
| V. DISCUSIÓN.....                                                                              | 43 |
| 5.1. Propiedades físicas y químicas de los suelos en dos sistemas<br>agroforestales .....      | 43 |
| 5.2. Carbono almacenado en el suelo.....                                                       | 45 |
| 5.3. Carbono almacenado en la hojarasca.....                                                   | 47 |
| 5.4. Carbono almacenado en raíces finas .....                                                  | 49 |
| VI. CONCLUSIONES .....                                                                         | 50 |
| VII. RECOMENDACIONES.....                                                                      | 51 |
| VIII. ABSTRACT.....                                                                            | 52 |
| IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                                           | 53 |
| X. ANEXOS.....                                                                                 | 61 |

## ÍNDICE DE CUADROS

| Cuadro |                                                                                          | Página |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1.     | Análisis de suelos de los dos SAF. ....                                                  | 33     |
| 2.     | Análisis de suelos de los dos SAF. ....                                                  | 33     |
| 3.     | Densidad aparente del suelo por horizontes.....                                          | 34     |
| 4.     | Carbono almacenado en el suelo de sistema agroforestal<br>con cacao.....                 | 37     |
| 5.     | Carbono almacenado en el suelo de sistema agroforestal<br>con café.....                  | 37     |
| 6.     | Registro de datos para obtención de carbono en<br>hojarasca en SAF con cacao y café..... | 39     |
| 7.     | Carbono almacenado en raíces finas de sistema<br>agroforestal con cacao.....             | 41     |
| 8.     | Carbono almacenado en raíces finas de sistema<br>agroforestal con café.....              | 41     |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| Figura |                                                                                                    | Página |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1.     | Esquema general de muestreo.....                                                                   | 24     |
| 2.     | Diagrama de muestreo carbono almacenado en el suelo y raíces.....                                  | 25     |
| 3.     | Esquema de muestreo de hojarasca.....                                                              | 26     |
| 4.     | Densidad aparente en el suelo de los sustratos sucesivos (0 – 10 cm, 10 – 20 cm y 20 – 30 cm)..... | 36     |
| 5.     | Carbono almacenado en suelo en sistemas agroforestales de cacao y café.....                        | 38     |
| 6.     | Carbono en hojarasca de dos sistemas agroforestales.....                                           | 40     |
| 7.     | Carbono almacenado en raíces finas.....                                                            | 42     |
| 8.     | Reconocimiento de la parcela con cacao.....                                                        | 62     |
| 9.     | Toma de muestras de hojarasca.....                                                                 | 62     |
| 10.    | Muestras de hojarasca empaquetadas y codificadas.....                                              | 63     |
| 11.    | Medición de profundidad en la sub parcela del cultivo de cacao.....                                | 63     |

|     |                                                                                                           |    |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 12. | Recolectando muestras de suelo para su posterior análisis en laboratorio.....                             | 64 |
| 13. | Extrayendo muestras de suelo en los cilindros para hallar la densidad aparente en el cultivo de café..... | 64 |
| 14. | Tamizado del suelo para hallar raíces menores a 4 mm de diámetro.....                                     | 65 |
| 15. | Tamizado de suelo para análisis en el laboratorio.....                                                    | 65 |
| 16. | Pesado suelo para el análisis en laboratorio.....                                                         | 66 |
| 16. | Titulación para determinar el porcentaje de M.O.....                                                      | 66 |

**ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN EL SUELO EN DOS TIPOS DE  
SISTEMAS AGROFORESTALES CACAO (*Theobroma cacao* L.) Y CAFÉ  
(*Coffea arábica*) EN HERMILIO VALDIZAN<sup>1</sup>**

Ruben A. Jara Sánchez<sup>2</sup>, José D. Lévano Crisostomo<sup>3</sup>.

**RESUMEN**

El presente trabajo de investigación se realizó en los fundos Inocente y Alvarado, ubicados en el caserío de Sortilegio, distrito de Hermilio Valdizan y el laboratorio de conservación de suelos y agua, de la Universidad Nacional Agraria de la Selva de Tingo María, departamento de Huánuco - Perú. Con el objetivo de cuantificar la cantidad de carbono almacenado en el suelo en dos tipos de sistemas agroforestales cacao (*Theobroma cacao* L.; *Inga sp.*) y café (*Coffea arábica*; *Inga sp.*; *Aniba amazónica* Meiz). Las características del sistema agroforestal, conformado por cacao (*Theobroma cacao* L.) clon CCN-51 a una densidad de 3x3m y guaba (*Inga sp.*) a densidad de 18x18m, a una pendiente de 15%. Los suelos se caracterizan por tener una textura franco limoso arcilloso. El sistema agroforestal conformado por café a una densidad de 1x2m, guaba (*Inga sp.*) a densidad de 18x18m y moena amarilla (*Aniba amazónica* Meiz) a densidad de 8x8 m a una pendiente de 25%; los suelos poseen una textura franco limoso. La metodología empleada para la evaluación de biomasa del suelo, radicular y de hojarascas fue la recomendada por el Centro Mundial de Agroforestería (ICRAF, 2009). La cantidad de carbono almacenado por el SAF cacao, en las fuentes suelo, hojarasca y raíz fue superior al SAF de café, encontrándose 75.899 Ct/ha para cacao y 6.189 C t/ha para café. Los resultados obtenidos probablemente dependen de los principales factores a largo plazo relacionados con la formación del suelo, aunque pueden ser modificados, por cambio de uso y manejo del suelo.

**Palabras clave:** cacao (*Theobroma cacao* L.) café (*Coffea arábica*), Carbono, Biomasa, suelo, Hojarasca, raíces finas, almacenamiento y sistemas agroforestales.

---

<sup>1</sup> Tesis para optar el título de Ingeniero en Conservación de Suelos y Agua – Universidad Nacional Agraria de la Selva.

<sup>2</sup> Tesista – e mail: ruben\_1291@hotmail.com.

<sup>3</sup> Docente MSc. Facultad de Recursos Naturales y Renovables-UNAS/ Tingo María-Perú.

## **I. INTRODUCCIÓN**

En los últimos años el calentamiento global, viene causando gran preocupación en el ámbito mundial, debido a la frecuencia y gravedad de severos eventos climáticos, como consecuencia de las constantes emisiones de gases de efecto invernadero. En ese contexto, el CO<sub>2</sub> es el gas que más contribuye al calentamiento global, siendo el hombre, el principal responsable de su emisión a la atmosfera (64% del calentamiento observado actualmente). En los últimos 200 años los incrementos del CO<sub>2</sub> en la atmósfera ha sido de 280 a 375 ppm, y continúa aumentando a una tasa promedio superior a 1.5 ppm por año. Se estima que la mayoría del aumento de concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub> proviene del uso de combustible fósiles, y el 20-25% provienen del cambio de uso de la tierra (WHRC, 1992 y WHITES, 2005).

Los sistemas agroforestales (SAF) representan sumideros importantes al absorber el CO<sub>2</sub> y liberar oxígeno. Por lo tanto, una forma de disminuir sus efectos es almacenarlo en la biomasa mediante la fotosíntesis y en el suelo a través de la acumulación de materia orgánica. Sin embargo, no han sido considerados en el pago de servicios ambientales, debido entre otras razones, a la ausencia de información cuantificada sobre su potencial de almacenamiento y fijación de carbono.

El cultivo del cacao (*Theobroma cacao* L.) y café (*Coffea arabica* L.) en la selva peruana se maneja bajo sombra arbórea. Por lo tanto, trae grandes beneficios económicos y ambientales al productor y así mismo al país. Además de la producción de cacao y café, el agrosistema permite obtener otros benéficos como: madera, leña, forraje, otros frutos, conservación de la biodiversidad, mejoramiento de las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo. Por tanto, se propone 2 hipótesis:

Ho: No existe diferencia de carbono almacenado entre los sistemas agroforestales de cacao y café, en el distrito de Hermilio Valdizán.

Ha: Si, existe diferencia de carbono al menos en alguna de las fuentes de almacenamiento (suelo y hojarascas) de los sistemas agroforestales de cacao y café.

### **Objetivo general**

- Cuantificar la cantidad de carbono almacenado en el suelo en dos tipos de sistemas agroforestales cacao (*Theobroma cacao* L.; *Inga* sp.) y café (*Coffea arábica* L.; *Inga* sp.; *Aniba amazónica* Meiz) en el distrito de Hermilio Valdizán.

**Objetivos específicos**

- Determinar el carbono almacenado por los sistemas agroforestales cacao y café, en las fuentes de suelo, hojarasca y raíz.
- Realizar el análisis de fertilidad del suelo de los sistemas agroforestales cacao y café.
- Identificar el sistema agroforestal que almacena mayor cantidad de carbono.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. El carbono**

El carbono (C), es un elemento crucial para la existencia de los organismos vivos, y que tiene muchas aplicaciones industriales importantes. El carbono es un elemento ampliamente distribuido en la naturaleza, aunque sólo constituye un 0.025% de la corteza terrestre, donde existe, principalmente, en forma de carbonatos. El dióxido de carbono es un componente importante de la atmósfera y la principal fuente de carbono que se incorpora a la materia viva. Por medio de la fotosíntesis, los vegetales convierten el dióxido de carbono en compuestos orgánicos de carbono, que posteriormente son consumidos por otros organismos (LEON, 2006).

VALLEJO y RODRIGUEZ (2008), mencionan que la existencia de carbono (en los diferentes reservorios) varía en función de la clase de bosque o del uso de la tierra y coberturas existentes. Incluso dentro de la misma clase de bosque, habrá diferencias en existencias de carbono:

- Bosque en planicie aluvial
- Bosques en colina
- Cambios por condiciones ambientales

- Cambios por manejo, intervención humana y paso del tiempo (sucesión ambiental)

## **2.2. Almacenamiento y fijación de carbono**

MOURA (2001) indica que el almacenamiento y la fijación de carbono es uno de los servicios ambientales de los ecosistemas forestales y agroforestales. La fijación de carbono se genera en el proceso de fotosíntesis realizado por las hojas y otras partes verdes de las plantas, que capturan el CO<sub>2</sub> de la atmósfera y producen carbohidratos, liberan oxígeno y dejan Carbono que se utiliza para formar la biomasa de la planta, incluyendo la madera en los árboles.

La materia orgánica de origen vegetal es la fuente primaria de carbono. La más comúnmente empleada son los residuos de cosechas, que pueden ser de diferente calidad dependiendo de su estado de crecimiento y tipo de planta. Las leguminosas proveen más nitrógeno que gramíneas y otras especies. La cantidad de carbono incorporado dependerá del rendimiento del cultivo, un maíz para grano de alto rendimiento puede dejar un nivel de residuos superior a las 15 t/ha de materia seca. La velocidad de descomposición de estos residuos dependerá del contenido de humedad del suelo, tamaño de los restos vegetales al ser incorporados, relación C/N del suelo de la actividad de la microflora. Entre los residuos de plantas destacan los sarmientos de vides, orujos de uva, tierra de hoja, compost, paja de cereales, heno, etc. INIA (2002).

### 2.3. Adiciones a la atmósfera

Debido a la combustión de los combustibles fósiles, la destrucción de los bosques y otras prácticas similares, la cantidad de CO<sub>2</sub> atmosférico ha ido aumentando desde la Revolución Industrial. La concentración atmosférica ha aumentado de unas 260 a 300 partes por millón (ppm) estimadas en el periodo preindustrial, a más de 350 ppm en la actualidad. Este incremento representa sólo el 50% del dióxido de carbono que se ha vertido a la atmósfera y la otra mitad probablemente haya sido absorbido y almacenado por los océanos. Aunque la vegetación del planeta puede absorber cantidades considerables de carbono, es también una fuente adicional de CO<sub>2</sub> (RUIZ, 2007).

El CO<sub>2</sub> atmosférico actúa como un escudo sobre la Tierra. Es atravesado por las radiaciones de onda corta procedentes del espacio exterior, pero bloquea el escape de las radiaciones de onda larga. Dado que la contaminación atmosférica ha incrementado los niveles de CO<sub>2</sub> de la atmósfera, el escudo va engrosándose y retiene más calor, lo que hace que las temperaturas globales aumenten en un proceso conocido como efecto invernadero. Aunque el incremento aún no ha sido suficiente para destruir la variabilidad climática natural, el incremento previsto en la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico debido a la combustión de combustibles fósiles sugiere que las temperaturas globales podrían aumentar entre 2 y 6°C a comienzos del siglo XXI. Este incremento sería suficientemente significativo para alterar el clima global y afectar al bienestar de la humanidad (ÁVILA, 2001).

## **2.4. El cambio climático**

Desde la década pasada y especialmente los últimos cinco años, el cambio climático es uno de los temas más importantes de la comunidad internacional. La razón es obvia: compartimos un planeta común, la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) se ha incrementado marcadamente, durante el siglo pasado y la evidencia científica argumenta que si el incremento de GEI continúa habrán efectos significantes sobre el cambio climático y otros aspectos de la ecología de la tierra. El promedio de la temperatura global incrementó entre 0.4°C y 0.8°C y el nivel del mar incremento de 0.1 a 0.2 m sobre los últimos 100 años (ALDY *et al.*, 2001).

El efecto invernadero consiste en la retención de energía calórica proveniente del sol en la atmosfera inferior, debida a la absorción y reflexión por parte de las nubes. La radiación solar visible (de baja longitud de onda), parte de la cual es retenida por los denominados GEI. La cantidad de GEI presente en la atmósfera pueden influenciar, por lo tanto, las temperaturas globales de la tierra: un aumento de dichos gases provoca un aumento de la temperatura global (BEAUMONT, 1999).

## **2.5. Opciones de mitigación al cambio climático**

El estudio del ciclo del carbono es importante para el entendimiento de su papel en el crecimiento de una planta, lo cual conlleva la incorporación

dentro de sus tejidos de moléculas de carbono (proceso que se conoce como fijación de carbono). Las moléculas de carbono se encuentran en la atmósfera en forma de dióxido de carbono y es removido de esta mediante la fotosíntesis para formación principalmente de carbohidratos (secuestro de carbono). La tasa potencial de producción de biomasa de una planta depende principalmente de su tasa de formación de carbohidratos, la velocidad de crecimiento (BAZZAZ y FAJER, 1992).

Las actividades de secuestro, almacenamiento o reducción de emisiones de carbono asociadas con los cambios de uso del suelo y las actividades antrópicas de GEI vienen permitiendo mitigar los efectos potenciales del calentamiento global subsecuente (BEAUMONT, 1999).

El cambio de uso del suelo y las actividades de manejo forestal han sido históricamente y son actuales fuentes de emisión de carbono (como dióxido de carbono) a la atmósfera. Por otro lado existe un potencial por parte de estas actividades para mitigar las emisiones de carbono ya sea por 1) emisiones evitadas o conservación de los stocks de carbono existente sobre la tierra (reducir la deforestación o mejorar las prácticas de extracción forestal; 2) secuestro de carbono o expandir los depósitos de carbono en los ecosistemas forestales por el incremento de áreas o densidades de carbono en los bosques (en plantaciones, sistemas agroforestales, regeneración natural y manejo de suelo) e incrementar el periodo de secuestro en productos maderables durables y 3) sustituir el uso de energía intensiva y productos derivados del cemento (biocombustibles y materiales de construcción) (BROWN *et al.*, 1996).

## **2.6. Importancia de los bosques en la fijación de CO<sub>2</sub>**

Los bosques son los ecosistemas terrestres más extensos, ocupando el 30% de la superficie emergida del planeta. A esta importancia espacial se añade su enorme valor en términos de biodiversidad, asociada especialmente a los bosques tropicales. El aumento poblacional, la fuerte competencia por espacios para la agricultura y la demanda creciente de madera han desencadenado un vertiginoso proceso de deforestación, que sigue afectando a unos 13 millones de hectáreas al año (FAO, 2007).

Aunque los bosques no representan una medida de mitigación a largo plazo estos han recibido considerable atención. Los optimistas estiman que la contribución del sector forestal a través del secuestro y prácticas de conservación del carbono para el año 2050 será del 11-15 % de la emisión global por la quema de fósiles en el mismo periodo (MÁRQUEZ, 2000).

La deforestación y otros cambios en el uso de la tierra en el trópico constituyen una fuente significativa de dióxido de carbono atmosférico. La magnitud de esta fuente adicional es comúnmente estimada entre 8% y 47% de la que se produce de los combustibles fósiles (ALEXANDER *et al.*, 1998, citado por VARGAS, 2000). La deforestación contribuye al aumento de la concentración de dióxido de carbono en la atmosfera de dos formas: disminuyendo la cobertura vegetal capaz de fijar carbono atmosférico y promoviendo la liberación de CO<sub>2</sub> a la atmosfera a través de la quema y

descomposición de biomasa incluida la materia orgánica en el suelo (HALL Y RAO, 1994, citado por VARGAS, 2000).

La captura de carbono está asociada con la restauración de la vegetación después del abandono de las tierras deforestadas, el crecimiento de los bosques secundarios, y el crecimiento neto de bosques primarios. Desde el punto de vista del cambio del uso de la tierra, la liberación de carbono a la atmósfera está asociada con la tala del bosque para la agricultura, la explotación comercial de los bosques y el incremento de la oxidación de la materia orgánica en los suelos (ERICKSON, 1992; citado por VARGAS, 2000).

En Costa Rica, estudios de fijación de carbono realizados en bosques han dado los resultados: en bosque tropical húmedo hasta  $16.7 \text{ t/ha}^{-1} \text{ C año}$  (CARRANZA *et al.*, 1996) y bosque húmedo pre montano  $5.1 \text{ t/ha}^{-1} \text{ C año}$ , considerando todas las especies. Según SEGURA (1999), algunas especies forestales en la cordillera volcánica central de Costa Rica tienen una tasa de fijación anual de carbono entre  $1.9$  y  $2.6 \text{ t/ha}^{-1} \text{ C año}$ , dependiendo de la gravedad específica y de la fijación de carbono de las especies, la cual osciló entre  $0.43$  y  $0.47$ . Tomando como referencia a ORTIZ *et al.* (2008), quien evaluó parcelas con sistemas laurel–cacao de 25 años, los cuales almacenaron entre  $43$  y  $62 \text{ t/ha}^{-1} \text{ C}$ . Estos resultados concuerdan con lo encontrado en otro estudio en Talamanca, que encontró entre  $42$  y  $61 \text{ t/ha}^{-1} \text{ C}$  en cacaotales arbolados en loma y valle (SEGURA, 2005). En otros estudios se reportó el almacenamiento de carbono similares para sistemas agroforestales en zonas

bajas húmedas de Sudamérica entre 39 y 102 t/ha<sup>-1</sup> C (ALBRECHT y KANDJI, 2003). En cafetales asociados con *Eucalyptus deglupta*, se reportan existencias de carbono de entre 10.6 y 12.6 t/ha<sup>-1</sup> C a los 4 y 10 años de edad, respectivamente (ÁVILA *et al.*, 2001).

POVEDA, *et al.* (2013) estimaron el carbono almacenado en 50 sistemas agroforestales con cacao (SAF-cacao) de Waslala, Nicaragua. Los SAF-cacao almacenaron 91.45 ( $\pm 31.44$ ) t/ha<sup>-1</sup> C con una tasa de fijación de carbono total de 5.4 t/ha<sup>-1</sup> C año<sup>-1</sup> y 2 t/ha<sup>-1</sup> C año<sup>-1</sup> en biomasa aérea. Los compartimentos del SAF-cacao que más carbono almacenaron en orden descendente fueron: suelo (52.61%), biomasa aérea (plantas de cacao y árboles de sombra) (35.86%), raíces gruesas (7.52%), raíces finas (4.15%), necromasa (0.32%) y hojarasca (0.32%). El 56% de los SAF-cacao registraron niveles de carbono medio y alto y el 44% niveles bajo y muy bajo

ANDRADE *et al.* (2008) estimaron el almacenamiento de carbono de cinco usos de la tierra (cacaotales con árboles, bananales con árboles, plátano monocultivo, charrales y bosques de galería), el margen bruto y el costo de oportunidad de cambiar el uso actual del suelo hacia otros con mayor contenido de carbono en las fincas de Talamanca indígena, Costa Rica. Los usos de la tierra en las lomas almacenaron 22% más carbono total y 47% más de carbono en biomasa que los del valle. Los bosques de galería son los sistemas que más carbono almacenaron, seguidos de cacaotales con árboles, charrales, banano con árboles y, por último, plátano en monocultivo. El suelo

fue el mayor reservorio de carbono (27-74%), seguido de la biomasa arriba del suelo (15-57%).

Una investigación llevada a cabo por VARGAS (2000) comparó los servicios ambientales de un sistema agroforestal con café y un sistema silvopastoril en Costa Rica. Los resultados obtenidos mostraron que en promedio los sistemas agroforestales café-eucalipto almacenaron 40% más carbono que los sistemas silvopastoril brizanta-eucalipto y brizanta-mangium, en promedio los sistemas agroforestales almacena más carbono que los sistemas correspondientes a los cultivos a pleno sol, este comportamiento fue más evidente en los sistemas silvopastoriles.

MUÑOS (2006), menciona que es importante definir que la acumulación de carbono en profundidad determina la posibilidad de considerar un determinado ecosistema como sumidero de CO<sub>2</sub> atmosférico, y al determinar en el análisis del contenido de su perfil permite determinar que el carbono disminuye en profundidad, donde el decrecimiento es en forma exponencial. 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.

Ante ello ROBERT (2001) menciona que la existencia de carbono orgánico del suelo depende de los principales factores a largo plazo relacionados con la formación del suelo, aunque pueden ser fuertemente

modificados – degradados o mejorados por los cambios en el uso y manejo de la tierra; a la vez representa un balance dinámico entre la absorción de material muerto y la pérdida por descomposición (mineralización). ALBRECHT y KANDJI, (2003) menciona que los bosques son el principal sumidero de CO<sub>2</sub>, sin embargo, según algunos estudios la capacidad de absorción y almacenamiento de carbono varía de un bosque a otro, por la influencia de factores como: temperatura, precipitación, densidad de masa, tipo de suelo, pendiente, altura, condiciones topográficas, índice de crecimiento y edad. Mientras que, ALPIZAR y OSES, (1988) indican que la productividad y la biomasa en pie de estos agroecosistemas varía mucho de una región a otra, lo que depende en buena parte de las condiciones climáticas (temperatura, precipitación, altitud y otros).

GALLARDO (2001) afirma que la calidad de la hojarasca influencia fuertemente la tasa de descomposición, afectando la disponibilidad de nutrientes y el proceso de sucesión; la hojarasca de baja calidad retrasa la descomposición y los procesos de mineralización. ALPIZAR *et al.* (1983) afirman que las diferencias en la cantidad de hojarasca en los sistemas se deben al tipo de café y sombra, edad de la plantación, manejo del cultivo (frecuencia e intensidad de poda de árboles de sombra y cultivo, frecuencia en el control de malezas) tipo de maleza, densidad del cultivo y de los árboles de sombra y época del muestreo.

Según JACKSON (1964) menciona que el carbono orgánico del suelo se encuentra en forma de residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y microorganismos, en forma de humus y en formas muy condensadas de composición próxima al carbono elemental. En condiciones naturales, el carbono orgánico del suelo resulta del balance entre la incorporación al suelo del material orgánico fresco y la salida de carbono del suelo en forma de  $\text{CO}_2$  a la atmósfera. Así mismo, AGUILERA (2000) menciona que se conoce como materia orgánica del suelo (MOS) a un conjunto de residuos orgánicos de origen animal y / o vegetal, que están en diferentes etapas de descomposición, y que se acumulan tanto en la superficie como dentro del perfil del suelo. Además, incluye una fracción viva, o biota, que participa en la descomposición y transformación de los residuos orgánicos por erosión y lixiviación. Cuando los suelos tienen condiciones aeróbicas, una parte importante del carbono que ingresa al suelo ( $55 \text{ Petagramos C año}^{-1}$ ) a nivel global es lábil y se mineraliza rápidamente y una pequeña fracción se acumula como humus estable ( $0.4 \text{ Petagramos C año}^{-1}$ ).

GAYOSO (2006) indica que el carbono acumulado por unidad de superficie es muy variable según el tipo y estado del bosque. Destacan los bosques siempre verdes adultos, donde el carbono total alcanza  $606.80 \text{ C t/ha}$  con la siguiente distribución;  $287.75 \text{ C t/ha}$  en la biomasa aérea,  $79.92 \text{ C t/ha}$  en raíces (diámetro  $> 5\text{mm}$ ),  $2.79 \text{ C t/ha}$  en el sotobosque,  $53.56 \text{ C t/ha}$  en la necromasa,  $5.87 \text{ C t/ha}$  en la hojarasca y  $180.91 \text{ C t/ha}$  en los primeros 30 cm del suelo. CONCHA *et al.* (2007) evaluaron el almacenamiento de carbono

orgánico sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*) asociado con especies forestales maderables y frutales; con el propósito de conocer el potencial de captura de carbono por cada sistema. Los resultados encontrados para carbono en biomasa arbórea de árboles vivos oscilaron de 12.09 t/ha – 35.5 t/ha, seguido por la biomasa de hojarasca de encontraron valores desde 4 t/ha hasta 9.97 t/ha.

AVILA, *et al.* (2001) al realizar estudios en diferentes sistemas agroforestales o monocultivo de café en Costa Rica, encontró valores de almacenamiento de carbono en cantidad de 139 t/ha para el sistema Café – Eucalipto (4 años), 161 t/ha para el sistema café – eucalipto (6 años), 184 t/ha para café – poro (> 10 años) y 153.9 t/ha para café en pleno sol. Los resultados fueron variables por las condiciones clima, suelo, tipología de cafeto, manejo y otros.

## **2.7. Estructura física del suelo**

El suelo tendrá indiscutiblemente una tendencia congénita a ser arcilloso, limoso, arenoso, según que la roca sea arcillosa, limosa, o arenosa, en el caso de rocas sedimentarias y sedimentos, o bien que sea capaz de producir esos elementos en el curso de su alteración, si se presenta al estado de roca consolidada y coherente. Esta tendencia puede ser favorecida o contrarrestada por la evolución. El humus aparece normalmente con todos los factores que condicionan su naturaleza (vegetación, clima, medio pedológico,

etc.). El humus puede dar lugar a migraciones capaces de transformar radicalmente la textura original, como por ejemplo en la podzolización. Mientras se produce esta evolución, la alteración de la roca madre puede continuar, puede enlentecerse y hasta detenerse (RUCKS *et al.*, 2004).

En una investigación llevada a cabo por WONG *et al.* (2000) incubaron dos suelos, Oxisol (4.5 % COS) y Ultisol (2.6% COS), con poda de ramillas de árboles observándose durante los primeros 14 días un aumento en pH de 4.8 a 5.8 en el Oxisol y de 4.1 a 6.8 en el Ultisol junto a una disminución del Al intercambiable. Para el Ultisol el mejor predictor de los cambios de pH fue el contenido total de bases de las ramillas. Los autores propusieron que el mecanismo de neutralización de la acidez se debe a una complejación de protones y Al mediante aniones orgánicos.

La densidad aparente puede ser incluida dentro del grupo mínimo de parámetros a medir para evaluar la calidad de un suelo, como indicador de la estructura, la resistencia mecánica y la cohesión del mismo. Así mismo, los valores que puede tomar la densidad aparente dependen de muchos factores, que van desde la textura, contenido de materia orgánica la cual está directamente relacionada, hasta el manejo que se le da al suelo (DORAN *et al.*, 1994).

En un trabajo de investigación llevada a cabo por REDDY (1991) se encontró que en un suelo franco arenoso la aplicación de 10 t/ha de abono

verde aumentó la tasa de infiltración de agua. Concluyendo que la Materia orgánica del suelo disminuye la densidad aparente. Las prácticas de manejo de suelos como la labranza en profundidad (e.g. subsolador), cultivo en camas y la incorporación de materia orgánica pueden reducir la resistencia a la penetración en forma considerable. En general, la materia orgánica del suelo tiende a aumentar la tasa de infiltración de agua en el suelo. Sin embargo, también depende del manejo y de la presencia de capas compactadas dentro del perfil del suelo. CARTER (2002) señala que la mantención de adecuados niveles de materia orgánica del suelo contribuye a disminuir la densidad aparente y resistencia a la compactación del suelo.

Un estudio realizado por FRANZLUBBERS *et al.* (1995) utilizó la razón de estratificación de la materia orgánica en diferentes suelos, Ustochrept, Eutrocrypt, Cryoboralf y Natriboralf manejados con labranza convencional y cero labranza. Se encontró que los suelos manejados con cero labranza tenían una mayor razón de estratificación de la materia orgánica comparado con los mismos suelos manejados con labranza convencional. Sin embargo, la disminución de la densidad aparente por labranza tiene sólo un efecto temporal, ya que el suelo después de la labranza se asienta rápidamente.

La investigación de JACKSON *et al.* (1997) reportaron que la biomasa de las raíces finas tiene un promedio de acumulación del 83 y 79% del total de las raíces finas vivas en los 30 cm superiores del perfil de suelo en bosques boreales y esclerófilos, respectivamente. Para los bosques templados

deciduos los mismos autores informan una acumulación del 63% en los 30 cm superiores del perfil, mientras que los bosques de coníferas y los bosques tropicales se caracterizan por un sistema radical fino que profundiza más (45% del total de las raíces finas vivas es reportado para los 30 cm superiores en el caso de las coníferas y 42 a 57% en los bosques tropicales deciduos y perennes respectivamente).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Lugar de ejecución**

La presente investigación se realizó en los predios Inocente y Alvarado, ubicados en el sector de Sortilegio, distrito de Hermilio Valdizan, y la fase de laboratorio se realizó en el laboratorio de Conservación de Suelos y Agua de la UNAS.

El presente trabajo de investigación tuvo una duración de 6 meses; de abril a septiembre del 2016.

##### **3.1.1. Ubicación geográfica**

El sector de Sortilegio se encuentra ubicado en la región geográfica de Ceja de Selva o región natural Selva Alta o Rupa Rupa en las coordenadas 402647 E y 8984940 N, a una altitud de 960 m.s.n.m.

##### **3.1.2. Ubicación política**

|           |   |                   |
|-----------|---|-------------------|
| Región    | : | Huánuco.          |
| Provincia | : | Leoncio Prado.    |
| Distrito  | : | Hermilio Valdizán |

Sector : Sortilegio

### **3.1.3. Ubicación ecológica**

De acuerdo a la clasificación de zonas de vida o formaciones vegetales del mundo y el diagrama bioclimático de la zona de estudio, se encuentra dentro de la zona ecológica: bosque muy húmedo premontano tropical (bmh. pt.) según escala de Holdridge (HOLDRIDGE, 1967).

### **3.1.4. Características generales de la zona**

#### **3.1.4.1. Clima**

El clima característico es tropical de selva según la clasificación climática de Köppen (MCKNIGHT, 2000). La temperatura media es de 24°C, y las precipitaciones sobrepasan los 4,179 mm/año (SENAMHI – Divisoria, 2012).

#### **3.1.4.2. Fisiografía**

La fisiografía que presenta el área de estudio presenta en su mayoría zonas onduladas y colinas altas caracterizadas por pendientes irregulares moderadas, quebradas escabrosas presentan cimas sub redondeadas y laderas largas con pendientes entre los 50% y 70%, con ligeras y moderadas disecciones, por sus características escarpadas, sus suelos son aptos para cultivos permanentes y también de protección.

### **3.2. Tipo de investigación**

La investigación es explorativa.

### **3.3. Características del sistema agroforestal**

#### **3.3.1. Sistema 1**

Sistema agroforestal de 5 años, conformado por cacao (*Theobroma cacao* L.) clon CCN-51 a una densidad de 3 m x 3 m (1111 árboles/ha) y guaba (*Inga* sp.) a densidad de 18 m x 18 m (32 árboles/ ha). La zona presenta una pendiente de 15%. Los suelos se caracterizan por tener una textura arcilloso y franco arcillo limoso, según el análisis de suelo del laboratorio de análisis de suelo de la Facultad de Agronomía (ver Anexo 2); estos van de color rojo claro a rojo pardo oscuro.

La parcela Inocente se ubica en el sector 1 del caserío de Sortilegio distrito de Hermilio Valdizán. El área de la plantación del sistema es de 4 ha; el cacao comenzó su producción al tercer año y presenta la época de mayor cosecha durante los meses de abril hasta julio. La producción promedio es de 1000 kilos por hectárea.

### **3.3.2. Sistema 2**

Sistema agroforestal de 15 años, conformado por café productivo a una densidad de 1.00 m x 2.00 m (5000 árboles/ha), guaba (*Inga sp.*) a densidad de 18.00 m x 18.00 m (32 árboles/ ha) y, moena amarilla (*Aniba amazónica Meiz*) a densidad de 8.00 m x 8.00 m (150 árboles/ ha). La zona presenta una pendiente de 25%; los suelos poseen una textura franco según el análisis de suelo del laboratorio de análisis de suelo de la Facultad de Agronomía (ver Anexo 2), y van estos de color rojo claro a rojo oscuro.

La parcela Alvarado se ubica en el sector 2 del caserío de Sortilegio, distrito de Hermilio Valdizán. El área de la plantación del sistema es de 10 ha; con una producción promedio 1500 kilos por hectárea.

### **3.4. Metodología**

Para el desarrollo de la investigación se planteó desarrollarlo en cuatro (04) fases fundamentales: trabajo inicial de gabinete, de campo, de laboratorio y final de gabinete.

### **3.4.1. Fase inicial de gabinete**

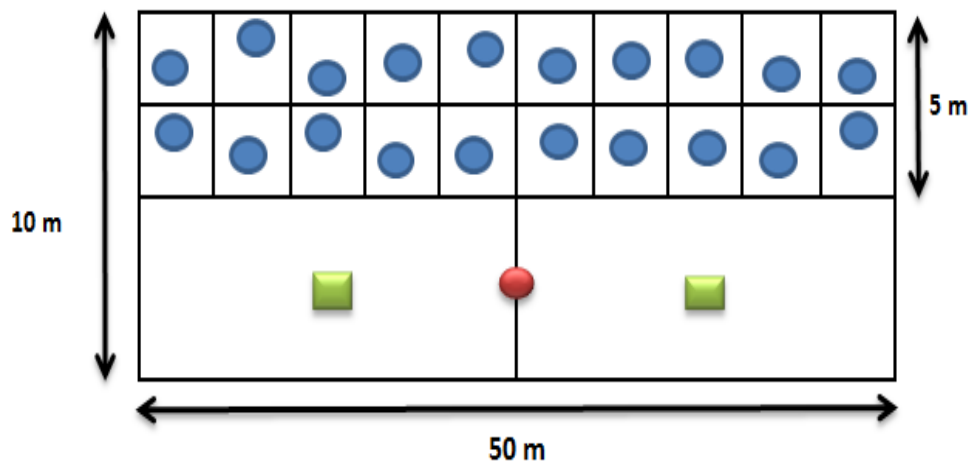
#### **3.4.1.1. Estratificación del área**

Se reconoció el área de estudio de acuerdo al mapa de ubicación fundos Inocente y Alvarado, con la finalidad de estratificar el área en unidades homogéneas y establecer los puntos de muestreo.

#### **3.4.1.2. Diseño de muestreo**

Se delimitó los espacios muestrales mediante un diseño de muestreo al azar estratificado, para ello se trabajó con parcelas de 1000 m<sup>2</sup>, (50 m x 20 m), ubicadas al azar dentro terreno, dentro de ella se estableció una sub parcela de 50 x 5 m para el muestreo de hojarasca que estuvo dividido en 20 partes por igual (MACDICKEN, 1997).

Para el muestreo de carbono orgánico y raíces se estableció dos sub parcelas de 50 x 10 m en la que se estableció dos (02) parcelas de 1 m<sup>2</sup> ubicadas al azar dentro de las parcelas (ICRAF, 2009), como también se estableció una calicata para el análisis textural y de pH. El ICRAF (2009), (AREVALO *et al.*, 2003), recomiendan muestrear hasta una profundidad de 30 cm, en rangos de 0 - 10 cm; 10 - 20 cm y 20 - 30 cm.



Fuente. MACDICKEN,1997.

Figura 1. Esquema general de muestreo

Dónde:



Punto de muestreo al azar de hojarascas



Puntos de muestreo al azar de suelo y raíces.

### 3.4.2. Fase de campo

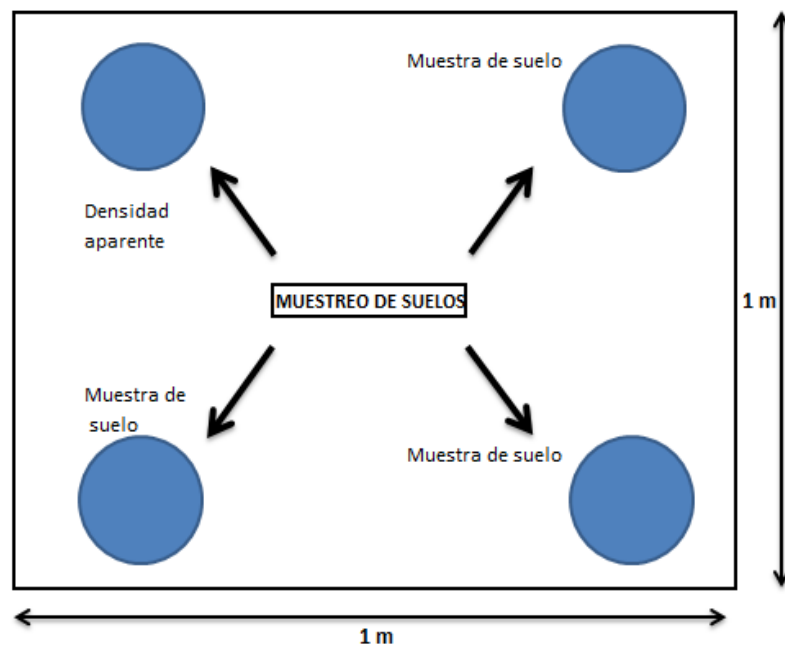
La metodología empleada para la evaluación de biomasa del suelo, radicular y de hojarascas fue la recomendada por el Centro Mundial de Agroforestería (ICRAF, 2009).

#### 3.4.2.1. Obtención de la muestra de suelo

En la parcela de 10 x 50 metros se eligió al azar dos (02) sub parcelas de 1.0 m<sup>2</sup> para realizar las calicatas de 0.30 m x 0.30 m x 0.30 m; posteriormente se definieron las profundidades de muestreo en los siguientes rangos: 0 – 0.1 m; 0.1 – 0.2 m, 0.2 – 0.3 m (ICRAF, 2009), para la obtención de

las muestras de suelo según el esquema de la Figura 2. Por cada rango se tomó, una muestra de suelo de 500 g aproximadamente (ICRAF, 2009).

Las muestras fueron correctamente identificadas y enviadas al laboratorio para la cuantificación de carbono orgánico en el suelo (COS).



Fuente. ICRAF, 2009.

Figura 2. Diagrama de muestreo carbono almacenado en el suelo y raíces.

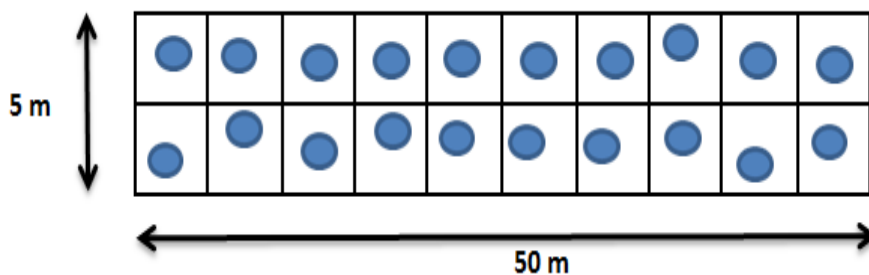
#### 3.4.2.2. Obtención de muestras para el cálculo de densidad aparente

En las mismas profundidades y sub parcelas establecidas para el muestreo de carbono orgánico en el suelo se procedió a introducir un cilindro de volumen conocido, con la ayuda de un martillo; luego se retiró el cilindro lleno de suelo, cuidando no dañar la muestra que se encuentra dentro de ella.

Se procedió a depositar en bolsas plásticas los cilindros llenos de suelo para llevar al laboratorio para su análisis respectivo (MACDICKEN, 1997).

#### 3.4.2.3. Obtención de la muestra de hojarascas

Se cuantificó en base a las hojas, flores, frutos, semillas y fragmentos de estos, ramitas y material leñoso menores a 4 cm de diámetro. Se colectó toda la hojarasca de una área de  $0.25 \text{ m}^2$  ( $0.50 \times 0.50 \text{ m}$ ), establecidas de manera aleatoria dentro de la subparcela temporal de  $50 \times 10 \text{ m}$  (MACDICKEN, 1997) como se observa en la Figura 03. Se registró el peso húmedo total por cada  $0.25 \text{ m}^2$ . Para las muestras con peso elevado, se tomó una submuestra de 200 g; ésta se colocó en una bolsa plástica debidamente codificada para ser llevada al laboratorio para su respectivo análisis.



Fuente. MACDICKEN, 1997.

Figura 3. Esquema de muestreo de hojarascas.

#### 3.4.2.4. Obtención de la muestra de raíces

Para el muestreo de carbono almacenado en raíces se usó la metodología propuesta por el Centro Mundial de Agroforestería (ICRAF, 2009). En las calicatas de  $0.30 \text{ m} \times 0.30 \text{ m} \times 0.30 \text{ m}$  se obtendrá las muestras, en las

siguientes profundidades 0 – 0.1 m; 0.1 – 0.2 m y 0.2 – 0.3 m, siendo depositadas en bolsas plásticas para su posterior análisis en laboratorio.

### **3.4.3. Fase de laboratorio**

#### **3.4.3.1. Obtención de datos de carbono almacenado en el suelo**

Para la determinación de carbono almacenado en el suelo, se usó el método de Walkley y Black, en el cual el % MO (porcentaje de materia orgánica) fue proporcionado mediante un análisis de laboratorio. Antes de ser enviadas las muestras al laboratorio estas fueron secadas bajo sombra, evitando la llegada de la radiación solar directa hacia las muestras.

Para la obtención de la densidad aparente se usó la metodología propuesta por el Centro Mundial de Agroforestería (ICRAF, 2009). Las muestras obtenidas para la determinación de la densidad aparente fueron sometidas a una estufa a una temperatura de 70 °C, hasta obtener un peso constante. Después de sacar la muestra se pesó nuevamente para obtener el peso seco.

#### **3.4.3.2. Obtención de datos de carbono en hojarasca**

Se colectó toda la hojarasca que se encuentra dentro de un marco de 0.25 m<sup>2</sup>, instalada aleatoriamente dentro de la sub parcela de 50 x 10 m (MACDICKEN, 1997). La hojarasca húmeda colectada se envolvió en

papel periódico y se pesó en una balanza digital para obtener el peso húmedo, posteriormente se secó en estufa a 70 °C por 24 a 48 horas aproximadamente, hasta obtener un peso constante. Una vez la muestra seca se pesó nuevamente para así obtener el peso seco y posteriormente se realizan los respectivos cálculos para registrar la biomasa en toneladas por hectárea (t/ha) seca de hojarasca (ICRAF, 2009).

#### **3.4.3.3. Obtención de datos de carbono en raíces finas**

La obtención de datos de carbono en raíces se realizó según la metodología propuesta por el Centro Mundial de Agroforestería (ICRAF, 2009). Al centro de la parcela de muestreo, se extrajo un monolito de tierra de (30x30x10 cm) que fue tamizado (2 mm) para extraer todas las raíces finas. Se procedió a pesarlo en una balanza digital para obtener el peso húmedo, y posteriormente ser secado en una estufa a 70 °C por 24 a 48 horas (hasta obtener peso constante), posteriormente se realizaron los respectivos cálculos para registrar la biomasa. Con los valores obtenidos se calculó el total de toneladas de materia seca de raíces por hectárea (t MS/ha).

#### **3.4.4. Fase final de gabinete**

##### **3.4.4.1. Cálculos para la obtención de carbono almacenado en el suelo**

Para la determinación de carbono almacenado en el suelo, se usó la fórmula (1) propuesta por WALKLEY y BLACK (1938):

$$\text{COS} = \% \text{CO} \times \text{Da} \times \text{Ps}$$

Dónde:

**COS** : Carbono orgánico de suelos (t/ha)

**%CO** : 0.58 x %MO (Walkley y Black, 1938)

**Da** : Densidad aparente (t/m<sup>3</sup>)

**Ps** : Profundidad del suelo (m)

- El contenido de carbono es multiplicado por 10 para convertir las unidades en t C/ha
- Para determinar el volumen del cilindro y la densidad aparente se usó la fórmula empleada por MACDICKEN (1997) e ICRAF (2009):

$$V = \pi \times r^2 \times h$$

$$\text{Da} = \frac{\text{MS}}{V}$$

Donde:

**V** : Volumen

**π** : 3.1416, valor constante

**r** : Radio del cilindro

**h** : Altura del cilindro

**Da** : Densidad aparente

**MS** : Masa seca.

#### 3.4.4.2. Cálculos para la obtención de carbono almacenado en hojarascas

Para la determinación de carbono almacenado en hojarascas se usó la fórmula propuesta por el ICRAF (2009):

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

Bh = Biomasa de la hojarasca, materia seca (t/ha)

PSM = Peso seco de la muestra colectada (kg)

PFM = Peso fresco de la muestra colectada (kg)

PFT = Peso fresco total (kg/0.25 m<sup>2</sup>)

Factor 40 = conversión de las unidades a tn/ha

$$CH = \text{biomasa} \left( \frac{t}{ha} \right) \times 0.50$$

Dónde:

CH: Carbono en hojarascas

0.50: Valor propuesto por IPCC.

#### 3.4.4.3. Cálculo para la obtención de carbono almacenado en raíces finas

Para la determinación de carbono almacenado en las raíces se usó la fórmula propuesta por el ICRAF, (2009)

$$CR = (\text{Biomasa} \times 1.25) \times 0.5$$

Dónde:

CR : Carbono en raíz

1.25 : Factor de corrección para volumen de raíz

0.50 : valor propuesto por el IPCC.

### **3.5. Variables independientes**

- Tipo de sistema agroforestal

### **3.6. Variables dependientes**

- Cuantificación de hojarasca, suelo, raíces bajo suelo.

### **3.7. Análisis estadístico**

El análisis estadístico empleado fue un análisis de varianza con el fin de encontrar si existen diferencias significativas de la fracción de carbono entre los 2 tipos de sistemas agroforestales cacao y café. Así mismo, se realizaron las pruebas de comparaciones de medias de Tukey. Adicionalmente se utilizó las pruebas estadísticas no paramétricas básicas.

## **IV. RESULTADOS**

### **4.1. Propiedades físicas y químicas de los suelos en los sistemas agroforestales**

El resultado de los análisis de suelo de dos sistemas agroforestales indicados en el Cuadro 1. Nos muestra los valores encontrados en el análisis mecánico del suelo, evidenciando diferencia significativa en la clase textural en cada una de los SAF, notándose la presencia de arcilla y arena en un buen porcentaje, debido a la fuerte actividad productiva y al método de cultivo a que fueron sometidos las parcelas años anteriores (incluyendo el primer año de instalación de los sistemas agroforestales); donde también la homogeneidad de especies vegetales, la falta de cobertura y el mal drenaje nos da como resultado unos niveles de materia orgánica realmente bajos, suelos, en su mayoría realmente mal estructurados y con mala y/o baja reserva de nutrientes en cada uno de los SAF. Del mismo modo se observa que son muy bajas las concentraciones de N (%), P (ppm) y K (ppm) disponibles para las plantas. Así mismo en los dos SAF estos presentan un pH que van desde 4.62 a 4.93, que indican una condición de fuertemente ácidos de estos suelos (Sistema de clasificación USDA – Laboratorio de suelos UNAS).

Cuadro 1. Análisis mecánico del suelo de los dos sistemas agroforestales (SAF).

| SAF          | Análisis mecánico |                |             |           | pH    | M.O  | N    | P    | K      |
|--------------|-------------------|----------------|-------------|-----------|-------|------|------|------|--------|
|              | Arena<br>(%)      | Arcilla<br>(%) | Limo<br>(%) | Textura   | 01:01 | %    | %    | ppm  | Ppm    |
| SAF<br>Cacao | 19.7              | 47.04          | 33.3        | Arcilloso | 4.62  | 2.96 | 0.13 | 2.16 | 120.45 |
| SAF<br>Café  | 51.7              | 21.04          | 27.03       | Franco    | 4.93  | 1.34 | 0.06 | 3.09 | 68.97  |

SAF: Sistema agroforestal, M.O: Materia orgánica, N: Nitrógeno, P: Fósforo, K: Potasio.

En el (Cuadro 2) los resultados nos muestran que los valores de las bases intercambiables, donde la capacidad intercambio catiónico efectiva (CICe) en los dos SAF presentan valores bajos con un porcentaje de saturación de base de 11.77 y 6.51, lo cual conlleva que no todos los nutrientes estén disponibles para las plantas.

Cuadro 2. Análisis de bases cambiables de suelo de los dos sistemas agroforestales (SAF).

| SAF          | Cambiabiles C mol (+)/Kg |      |      |      | CICe | %             | %            | %          |
|--------------|--------------------------|------|------|------|------|---------------|--------------|------------|
|              | Ca+2                     | Mg+2 | Al   | H    |      | Bas.<br>Camb. | Ac.<br>Camb. | Sat.<br>Al |
| SAF<br>Cacao | 5.39                     | 2.38 | 1.09 | 0.39 | 9.24 | 84.02         | 15.98        | 11.77      |

Continuación del Cuadro 2. ...

| SAF  | Cambiabiles C mol (+)/Kg |                  |      |      | CICe | %             | %            | %          |
|------|--------------------------|------------------|------|------|------|---------------|--------------|------------|
|      | Ca <sup>+2</sup>         | Mg <sup>+2</sup> | Al   | H    |      | Bas.<br>Camb. | Ac.<br>Camb. | Sat.<br>Al |
| SAF  | 3.37                     | 1.44             | 0.35 | 0.24 | 5.4  | 89.06         | 10.94        | 6.51       |
| Café |                          |                  |      |      |      |               |              |            |

SAF: Sistema agroforestal, Bas. Camb.: Base cambiabale, Ac. Camb.: Ácido cambiabale, Sat. Al: Saturación de aluminio.

El cuadro 3, nos muestra los resultados de densidad aparente de los sistemas agroforestales de cacao y café en los diferentes horizontes 0 -10 cm, 10 – 20 cm y 20 – 30 cm. Encontrándose diferencia significativa en la profundidad de 0 – 10 cm entre los dos sistemas agroforestales, siendo la densidad del SAF con cacao de 1.20 g/cm<sup>3</sup> y para el SAF con café de 1.27 g/cm<sup>3</sup>. La densidad aparente en la profundidad de 10 – 20 cm de los sistemas agroforestales cacao y café fue de 1.22 y 1.29 respectivamente, mostrando diferencia altamente significativa. Mientras que la profundidad 20 – 30 cm de los sistemas agroforestales cacao y café muestran una diferencia significativa, siendo los valores de densidad aparente de 1.16 g/cm<sup>3</sup>; 1.21 g/cm<sup>3</sup>.

Cuadro 3. Densidad aparente del suelo por horizontes

| Profundidad del horizonte<br>(cm) | Sistema agroforestal | Densidad aparente<br>(g/cm <sup>3</sup> ) |
|-----------------------------------|----------------------|-------------------------------------------|
| 0-10                              | CACAO                | 1.20 <sup>ab</sup>                        |
|                                   | CAFÉ                 | 1.27 <sup>d</sup>                         |

Continuación del Cuadro 3. ...

| Profundidad del horizonte<br>(cm) | Sistema agroforestal | Densidad aparente<br>(g/cm <sup>3</sup> ) |
|-----------------------------------|----------------------|-------------------------------------------|
| 10 - 20.                          | CACAO                | 1.22 <sup>b</sup>                         |
|                                   | CAFÉ                 | 1.29 <sup>d</sup>                         |
| 20 - 30.                          | CACAO                | 1.16 <sup>a</sup>                         |
|                                   | CAFÉ                 | 1.21 <sup>b</sup>                         |

La figura 4 nos muestra la variación de la densidad aparente en los sistemas agroforestales de cacao y café, observándose que a nivel del horizonte de 0 a 10 cm el SAF con café tiene mayor densidad aparente que el SAF con cacao. Así mismo, sucede con la densidad aparente en el horizonte de 10 a 20 cm, dando como resultado una diferencia altamente significativa. Mientras que la densidad aparente en el horizonte de 20 a 30 cm para el SAF con cacao y café evidencia diferencia ligeramente significativa. Estos resultados muestran que el SAF con cacao muestra mejor calidad de suelo al presentar menor resistencia mecánica con mejor tasa de infiltración de agua en el suelo.

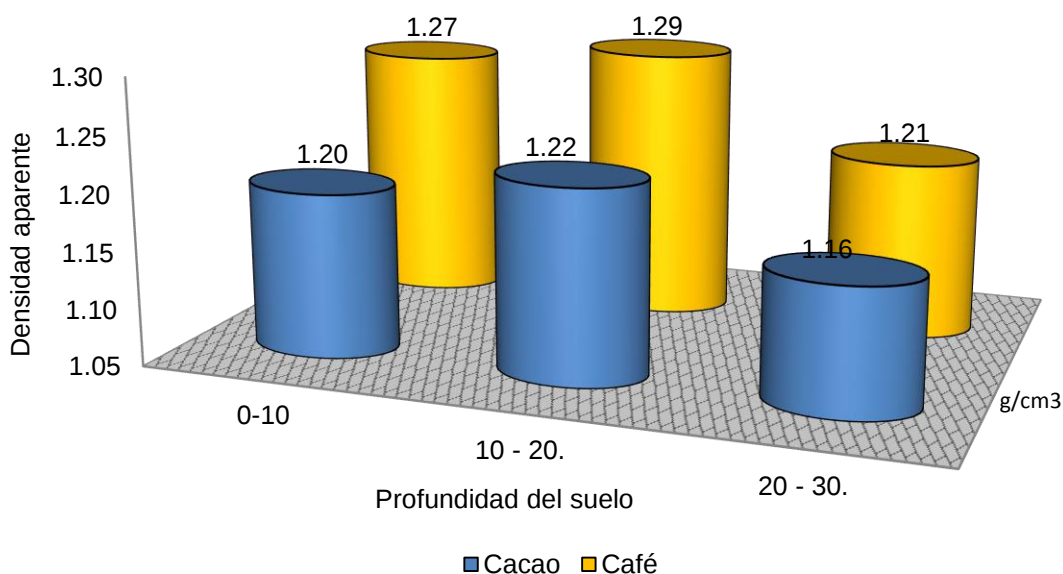


Figura 4. Densidad aparente en el suelo de los sustratos sucesivos (0 -10 cm, 10 – 20 cm y 20 – 30 cm).

#### 4.2. Carbono almacenado en el suelo

Los resultados obtenidos con respecto al carbono almacenado en el suelo en un sistema agroforestal con cacao se muestran en el Cuadro 4. Siendo de 24.268 t/ha para el horizonte de 0 – 10 cm, 21.025 t/ha para el horizonte de 10 – 20 cm, 17.181 t/ha para el horizonte 20 – 30 cm. Siendo el horizonte de profundidad 0 – 10 cm el que presenta mayor almacenamiento de carbono orgánico. El acumulado de carbono almacenado en el suelo es de 62.474 t/ha.

Cuadro 4. Carbono almacenado en el suelo de sistema agroforestal con cacao

| Profundidad | Parcela 1 (t/ha) | Parcela 2 (t/ha) | (P1 + P2) | Promedio (t/ha) |
|-------------|------------------|------------------|-----------|-----------------|
| 0-10        | 23.575           | 24.961           | 48.536    | 24.268          |
| 10-20       | 21.942           | 20.108           | 42.05     | 21.025          |
| 20-30       | 18.191           | 16.170           | 34.362    | 17.181          |
| Total       | 63.708           | 61.239           | 124.948   | 62.474          |

Los resultados obtenidos con respecto al carbono almacenado en el suelo, en un sistema agroforestal con café, se muestran en el Cuadro 5. Siendo de 46.39 t/ha para el horizonte de 0 – 10 cm, 83.76 t/ha para el horizonte de 10 – 20 cm y 11.65 t/ha para el horizonte 20 – 30 cm. siendo el horizonte la profundidad de 10 – 20 cm el que presenta mayor almacenamiento de carbono orgánico. El acumulado de carbono almacenado en el suelo es de 141.80 t/ha.

Cuadro 5. Carbono almacenado en el suelo de sistema agroforestal con café

| Profundidad | Parcela 1 (t/ha) | Parcela 2 (t/ha) | (P1+P2) | Promedio (t/ha) |
|-------------|------------------|------------------|---------|-----------------|
| 0-10        | 26.610           | 24.019           | 50.629  | 25.315          |
| 10-20       | 23.932           | 22.397           | 46.33   | 23.165          |
| 20-30       | 2.100            | 6.005            | 8.105   | 4.052           |
| Total       | 52.642           | 52.421           | 105.062 | 52.531          |

La Figura 5 nos muestra la comparación de carbono orgánico almacenado en suelo de dos sistemas agroforestales de cacao y café. Siendo el SAF con cacao el que presenta mayor almacenamiento de carbono (62.473 t/ha) frente a un SAF con café (52.531 t/ha).

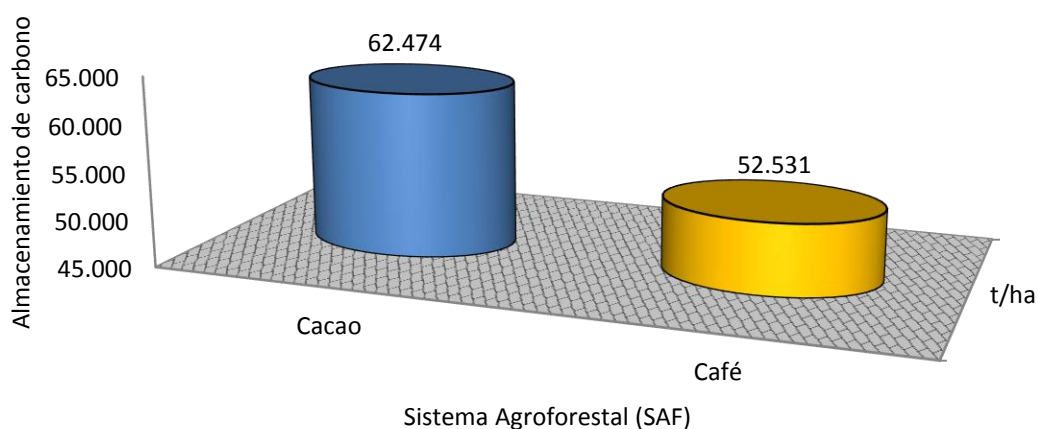


Figura 5. Carbono almacenado en suelo en sistemas agroforestales de cacao y café

#### 4.3. Carbono almacenado en la hojarasca

El siguiente cuadro nos muestra los resultados de carbono orgánico almacenado en hojarasca de dos sistemas agroforestales con cacao y café, los resultados indican que el SAF con cacao almacenó 11.115 t/ha de carbono, mientras que el SAF con café obtuvo un almacenamiento de 6.651 t/ha de carbono. La figura 6. nos muestra que el SAF que tuvo mayor almacenamiento de carbono fue el SAF con cacao.

Cuadro 6. Registro de datos para obtención de carbono en hojarasca en SAF  
con cacao y café

| SAF        | SAF cacao C t/ha | SAF café C t/ha |
|------------|------------------|-----------------|
| M1         | 10.772           | 4.816           |
| M2         | 12.484           | 5.604           |
| M3         | 9.751            | 4.253           |
| M4         | 10.793           | 7.467           |
| M5         | 10.929           | 6.059           |
| M6         | 13.695           | 4.963           |
| M7         | 9.035            | 5.772           |
| M8         | 9.375            | 6.195           |
| M9         | 11.430           | 5.862           |
| M10        | 8.809            | 4.213           |
| M11        | 13.313           | 8.220           |
| M12        | 11.382           | 7.571           |
| M13        | 11.490           | 8.533           |
| M14        | 10.757           | 9.360           |
| M15        | 13.944           | 7.326           |
| M16        | 14.114           | 7.297           |
| M17        | 9.696            | 6.695           |
| M18        | 10.259           | 7.155           |
| M19        | 13.256           | 9.068           |
| M20        | 7.817            | 6.586           |
| Promedio C | 11.155           | 6.651           |

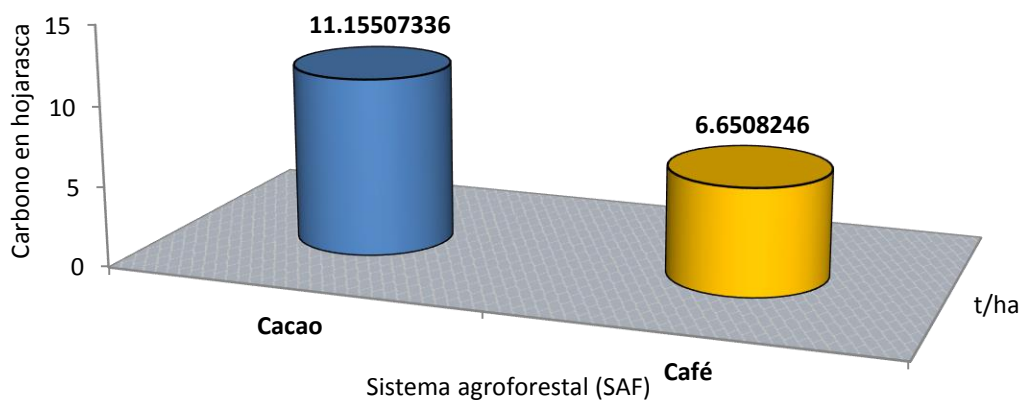


Figura 6. Carbono en hojarasca de dos sistemas agroforestales

#### 4.4. Carbono almacenado en raíces finas

Los resultados obtenidos con respecto al carbono almacenado en raíces finas en un sistema agroforestal con cacao se muestran en el cuadro 7. Siendo de 2.014 t/ha para el horizonte de 0 – 10 cm, 0.174 t/ha para el horizonte de 10 – 20 cm, 0.083 t/ha para el horizonte 20 – 30 cm. Encontrándose el horizonte de 0 – 10 cm el que presenta mayor almacenamiento de carbono orgánico. El acumulado de carbono almacenado en raíces finas es de 2.271 t/ha.

Cuadro 7. Carbono almacenado en raíces finas de sistema agroforestal con cacao

| Profundidad | Parcela 1 (t/ha) | Parcela 2 (t/ha) | (P1+P2) | Promedio (t/ha) |
|-------------|------------------|------------------|---------|-----------------|
| 0-10        | 1.875            | 2.153            | 4.028   | 2.014           |
| 10-20       | 0.139            | 0.208            | 0.348   | 0.174           |
| 20-30       | 0.056            | 0.111            | 0.166   | 0.083           |
| Total       | 2.069            | 2.472            | 4.542   | 2.271           |

Los resultados obtenidos con respecto al carbono almacenado en raíces finas en un sistema agroforestal con café se muestran en el Cuadro 8. Siendo de 0.556 t/ha para el horizonte de 0 – 10 cm, 0.313 t/ha para el horizonte de 10 – 20 cm y 0.139 t/ha para el horizonte 20 – 30 cm. Encontrándose el horizonte la profundidad de 0 – 10 cm el que presenta mayor almacenamiento de carbono orgánico. El acumulado de carbono almacenado raíces finas es de 1.007 t/ha.

Cuadro 8. Carbono almacenado en raíces finas de sistema agroforestal con café.

| Profundidad | Parcela 1 (t/ha) | Parcela 2 (t/ha) | (P1+P2) | Promedio (t/ha) |
|-------------|------------------|------------------|---------|-----------------|
| 0-10        | 0.417            | 0.694            | 1.112   | 0.556           |
| 10-20       | 0.208            | 0.417            | 0.626   | 0.313           |
| 20-30       | 0.111            | 0.167            | 0.278   | 0.139           |

Continuación del Cuadro 8. ...

| Profundidad | Parcela 1 (t/ha) | Parcela 2 (t/ha) | (P1+P2) | Promedio (t/ha) |
|-------------|------------------|------------------|---------|-----------------|
| Total       | 0.736            | 1.278            | 2.014   | 1.007           |

La figura 5 nos muestra la comparación de carbono orgánico almacenado en raíces finas de dos sistemas agroforestales de cacao y café. Siendo el SAF con cacao el que presenta mayor almacenamiento de carbono en raíces finas (2.27 t/ha) frente a un SAF con café (1.006 t/ha).

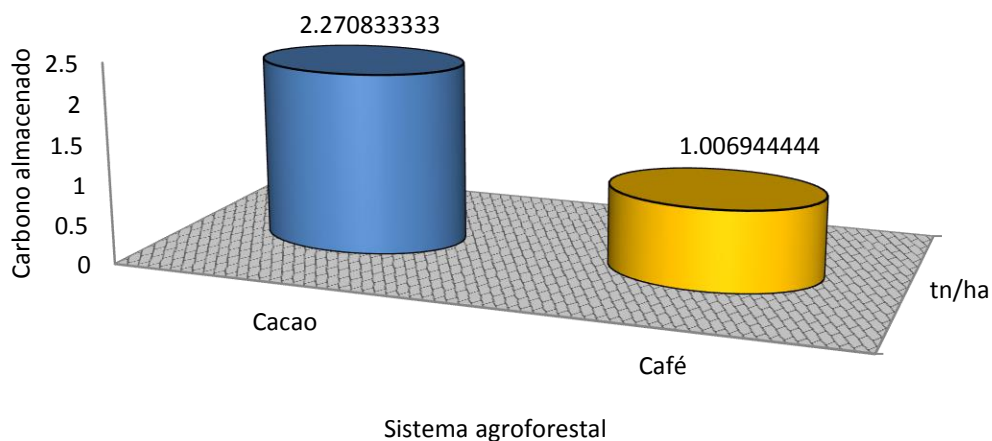


Figura 7. Carbono almacenado en raíces finas

## **V. DISCUSIÓN**

### **5.1. Propiedades físicas y químicas de los suelos en dos sistemas agroforestales**

Los resultados obtenidos con relación a las propiedades físico químicas del suelo de los sistemas agroforestales en estudio, difieren en cuanto a su clase textural, sobresaliendo la textura arcillosa en el SAF con cacao y presencia de suelo franco para el SAF con café. Esto es debido a la estructura física del suelo, que está sujeto a la composición de la roca madre y al proceso de meteorización que atraviesa el suelo, tal como lo menciona RUCKS *et al.*, (2004), que para evaluar el origen de la textura del suelo se considera en primer término a la roca madre; y que según la composición de esta en el suelo, tendrá indiscutiblemente una tendencia congénita a ser arcilloso, limoso o arenoso o bien puede producir estos elementos en el curso de su alteración, estando estrechamente relacionada con el contenido de materia orgánica y el manejo que recibe el suelo (DORAN *et al.*, 1994)

La composición química del suelo en los sistemas agroforestales de cacao y café (Cuadro 1 y 2) tienen valores bajos y medios del rango óptimo y pH fuertemente ácido (Sistema de clasificación USDA – Laboratorio de suelos

UNAS), esto afecta directamente al contenido de materia orgánica y este resultado guarda relación directa con la textura del suelo, esto debido a que en la mineralización de la materia orgánica se liberan cantidades apreciables de nitrógeno, azufre y algunos micronutrientes esenciales. Al respecto WONG *et al.* (2000) encontró resultados similares al incubar dos suelos, Oxisol (4.5% COS) y Ultisol (2.6% COS), con poda de ramillas de árboles, se observaron durante los primeros 14 días un aumento en pH de 4.8 a 5.8 en el Oxisol y de 4.1 a 6.8 en el Ultisol junto a una disminución de Al intercambiable; asumiendo que el mecanismo de neutralización de la acidez se debe a una complejidad de protones y Aluminio mediante aniones orgánicos.

El Cuadro 3 nos muestra datos de densidad, que a una profundidad de 0 – 10 cm, existe diferencia significativa entre el SAF con cacao y el SAF con café, siendo este último el que obtuvo mayor densidad ( $1.27\text{g/cm}^3$ ). De igual modo ocurre a una profundidad de 10 – 20 cm y 20 - 30 cm siendo el SAF con café el que obtuvo mayores densidades. Ante ello DORAN *et al.* (1994) indica que los valores que puede tomar la densidad aparente depende de muchos factores, entre ellas el contenido de materia orgánica. La materia orgánica del suelo disminuye la densidad aparente (REDDY, 1991), así mismo la densidad aparente es fuertemente afectada por el manejo del suelo. CARTER (2002) señala que la mantención de adecuados niveles de materia orgánica del suelo contribuye a disminuir la densidad aparente y resistencia a la compactación del suelo. Sin embargo, la disminución de la densidad aparente por labranza tiene solo un efecto temporal en la capa superficial

arable, ya que el suelo después de la labranza se asienta rápidamente (FRANZLUBBERS *et al.*, 1995).

## **5.2. Carbono almacenado en el suelo**

Los resultados obtenidos (cuadro 4 y 5) nos muestran valores de carbono almacenado (t/ha) según profundidad del suelo en los sistemas agroforestales cacao y café donde se aprecia que los valores de carbono obtenido tienden a disminuir exponencialmente a medida que aumenta la profundidad. Ante ello MUÑOS (2006), menciona que al determinar en el análisis del contenido de su perfil permite determinar que el carbono disminuye en profundidad, donde el decrecimiento es en forma exponencial y en sistemas agrícolas es común encontrar disminuciones exponenciales de carbono en los horizontes del suelo.

Así mismo JACKSON (1964), explica que el carbono orgánico del suelo en la capa superficial se encuentra en forma de residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y microorganismos, en forma de humus y en formas muy condensadas de composición próxima al carbono elemental. En condiciones naturales, el carbono orgánico del suelo resulta del balance entre la incorporación al suelo del material orgánico fresco y la salida de carbono del suelo en forma de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Cuando los suelos tienen condiciones aeróbicas, una parte importante del carbono que ingresa al suelo es lábil y se

mineraliza rápidamente y una pequeña fracción se acumula como humus estable (AGUILERA, 2000).

La acumulación de carbono orgánico en el suelo (Figura 5) fue de 62.473 t/ha para un sistema agroforestal de cacao y de 52.531 t/ha para un sistema agroforestal de café, mostrando diferencia significativa en ambos sistemas agroforestales; resultados similares se encontraron en una investigación realizado por ORTIZ *et al.*, (2008), quien evaluó parcelas con sistemas laurel-cacao de 25 años, los cuales almacenaron entre 43 y 62 t C/ha. Estos resultados concuerdan con lo encontrado en otro estudio en Talamanca, que encontró entre 42 y 61 t C/ha en cacaotales arbolados en loma y valle (SEGURA, 2005). ALBRECHT y KANDJI, (2003) reportan almacenamiento de carbono similares para sistemas agroforestales en zonas bajas húmedas de Sudamérica (39-102 t C/ha). En cafetales asociados con *Eucalyptus deglupta*, se reportan existencias de carbono de entre 10.6 y 12.6 t C/ha a los 4 y 10 años de edad, respectivamente (ÁVILA *et al.* 2001).

Ante ello ROBERT (2001) menciona que la existencia de carbono orgánico en el suelo depende de factores a largo plazo relacionados con la formación del suelo, aunque pueden ser fuertemente modificados, degradados o mejorados por los cambios en el uso y manejo de la tierra; a la vez representa un balance dinámico entre la absorción de material muerto y la pérdida por descomposición (mineralización). ALBRECHT y KANDJI (2003) mencionan que el almacenamiento de carbono varía de un bosque a otro, por la influencia de factores como: temperatura, precipitación, densidad de masa,

tipo de suelo, pendiente, altura y condiciones topográficas. Mientras que, ALPIZAR y OSES (1988), indican que la productividad y la biomasa en pie de estos agroecosistemas varía mucho de una región a otra, lo que depende en buena parte de las condiciones climáticas (temperatura, precipitación, altitud y otros).

Labores como la cosecha, poda y elaboración de abonos orgánicos, enmarcan en gran medida la cantidad acumulada de carbono en el suelo. INIA (2002) menciona que la materia orgánica de origen vegetal es la fuente primaria de carbono. La más comúnmente empleada son los residuos de cosechas, que pueden ser de diferente calidad dependiendo de su estado de crecimiento y tipo de planta. Entre los residuos de plantas destacan los sarmientos de vides, orujos de uva, tierra de hoja, compost, paja de cereales, heno, etc.

### **5.3. Carbono almacenado en la hojarasca**

La Figura 6 muestra resultados de almacenamiento de carbono en hojarasca siendo de 11.155 t/ha para el sistema agroforestal de cacao y de 6.650 t/ha para el sistema agroforestal de café, mostrando diferencia significativa en el almacenamiento de carbono en ambos sistemas agroforestales. Se asume que los resultados se encuentran influenciados por los factores ambientales (temperatura, precipitación, ubicación geográfica y otros) aunado al mayor aporte de material vegetal (hojarasca) por parte del cultivo, influyen en el grado de descomposición de la materia orgánica y su

posterior mineralización y almacenamiento de carbono. Por su parte GAYOSO (2006) indica que la cantidad de almacenamiento de carbono orgánico acumulado en la hojarasca de un bosque fue de 5.87 t/ha. Así mismo, CONCHA *et al.* (2007) al evaluar el almacenamiento de carbono orgánico en la hojarasca de sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao L.*) asociado con especies forestales maderables y frutales; encontraron valores desde 4 t/ha hasta 9.97 t/ha.

En ese sentido AVILA *et al.* (2001), manifiesta que los efectos de almacenamiento de carbono se deben a varios factores: edad de las especies, textura del suelo, cambio de uso del suelo, manejo del cultivo, entre otros. Ante ello GALLARDO (2001), afirma que la calidad de la hojarasca influye fuertemente la tasa de descomposición, afectando la disponibilidad de nutrientes y el proceso de sucesión; la hojarasca de baja calidad retrasa la descomposición y los procesos de mineralización. Así mismo, ALPIZAR *et al.* (1983) afirman que las diferencias en la cantidad de hojarasca en los sistemas se deben al tipo de café y sombra, edad de la plantación, manejo del cultivo (frecuencia e intensidad de poda de árboles de sombra y cultivo, frecuencia en el control de malezas) tipo de maleza, densidad del cultivo y de los árboles de sombra y época del muestreo.

#### 5.4. Carbono almacenado en raíces finas

La Figura 7 muestra resultados de almacenamiento de carbono en raíces finas siendo de 2.27 t/ha para el sistema agroforestal de cacao y de 1.006 t/ha para el sistema agroforestal de café, mostrando diferencia significativa en el almacenamiento de carbono en ambos sistemas agroforestales. Para los sistemas agroforestales de cacao y café, la capa superficial tuvo mayor almacenamiento de carbono, debido a que las raíces más finas están disponibles en mayor proporción en los estratos más superficiales, esto es debido a que absorben agua y nutrientes en mayor proporción en la superficie del suelo; coincidiendo con lo mencionado con JACKSON *et al.* (1997) que reportan un promedio de acumulación del 83 y 79% del total de las raíces finas vivas en los 30 cm superiores del perfil de suelo en bosques boreales y esclerófilos, respectivamente. Por su parte GAYOSO (2006) indica que el carbono acumulado por unidad de superficie es muy variable según el tipo y estado del bosque, donde el carbono total alcanza 79.92 t/ha en raíces. Contrastando nuestros resultados, basándonos en que el ecosistema de un bosque es más desarrollado en comparación al de un cultivo agrícola.

Así mismo POVEDA, *et al.* (2013) estimaron el carbono almacenado en 50 sistemas agroforestales con cacao (SAF-cacao) de Waslala, Nicaragua, encontrando para raíces finas 3.79 t C/ha. El 56% de los SAF-cacao registraron niveles de carbono medio y alto y el 44% niveles bajo y muy bajo.

## **VI. CONCLUSIONES**

1. La cantidad de carbono almacenado por el sistema agroforestal con cacao, en las fuentes suelo, hojarasca y raíz fue de 62.473 t/ha; 11.155 t/ha y 2.27 t/ha, respectivamente. El carbono almacenado por el sistema agroforestal con café, en las fuentes suelo, hojarasca y raíz fue de 52.53 t/ha; 6.65 t/ha y 1.006 t/ha, respectivamente.
2. Se realizó el análisis de fertilidad para los sistemas agroforestales cacao y café, el SAF con café tiene mejor textura y Ph que el SAF de cacao; no obstante, el SAF con cacao tuvo valores superiores de nitrógeno (N) y potasio (K) pero bajo valor de fosforo (P) frente al SAF de café. Así mismo el SAF con cacao tuvo mayores valores de calcio, magnesio, aluminio e hidrogeno frente al SAF con café; por lo tanto, el SAF con cacao tiene mayor CICE y ácidos cambiabiles pero menores bases cambiabiles frente al SAF con café.
3. El sistema de producción que almacena mayor cantidad de carbono en el suelo, fue el SAF con cacao con 75.899 C t/ha frente al SAF con Café que obtuvo 60.189 C t/ha

## **VII. RECOMENDACIONES**

1. Realizar estudios con respecto a evaluación y estimación de carbono almacenado aplicando diferentes tipos de sistemas agroforestales asociados con cultivos agrícolas.
2. Continuar estudios de investigación para la valoración económica por servicios ambientales de captura de carbono en sistemas agroforestales de café y cacao y la venta de bonos de carbono a empresas internacionales.
3. En la actualidad el cacao y el café son cultivos alternativos lícitos, incentivados por muchas organizaciones nacionales e internacionales por su valor económico, nutricional y amplio mercado. Este cultivo se viene trabajando bajo sistemas agroforestales y con tecnología de punta que asegura una alta productividad, de esta forma se obtiene grandes beneficios en menores extensiones, se evita la deforestación y se siembran más áreas forestales, en otras palabras, desarrollo sostenible.

## VIII. ABSTRACT

The current research work took place on the Inocente and Alvarado Estate located on the Sortilegio Homestead in the Hermilio Valdizan district and in the National Agrarian University of the Jungle's Conservation of Soil and Water Laboratory in the city of Tingo Maria, Huanuco department, Peru. The objective was to quantify the quantity of stored carbon in the soil of two types of agroforestry systems: cacao (*Theobroma cacao* L., Inga sp.) and coffee (*Coffea arábica* (Inga sp., Aniba amazónica Meiz). The cacao agroforestry system consisted of cacao (*Theobroma cacao* L., Inga sp.) clon CCN-51 at a density of 3 x 3 m and guava (Inga sp.) at a density of 18 x 18 m; on a 15% incline. The soils are characterized as having a loamy clay texture. The soils of the coffee agroforestry system consisting of coffee at a density of 1 x 2m, guava (Inga sp.) at a density of 18 x 18 m and Yellow Moena (Aniba amazónica Meiz) at a density of 8 x 8 m, on a 25% incline, have a loamy texture. The methodology used for the evaluation of the soil, root and dry leaf biomass was recommended by the World Agroforestry Centre (ICRAF, 2009). The amount of carbon stored by the cacao SAF (acronym in Spanish), in the sources of soil, dry leaves and roots, was greater than that stored in coffee SAF; finding 75.899 Ct/ac for cacao and 6.189 C t/ac for coffee. The obtained results probably depend on the long-term principal factors related with the formation of soil; although, they can be modified due to changes in the use and handling of the soil.

Keywords: cacao (*Theobroma cacao* L.), coffee (*Coffea arabica*), carbon, biomass storage, agroforestry systems

---

<sup>1</sup> Tesis para optar el título de Ingeniero en Conservación de Suelos y Agua – Universidad Nacional Agraria de la Selva.

<sup>2</sup> Tesista – e mail: ruben\_1291@hotmail.com.

<sup>3</sup> Docente MSc. Facultad de Recursos Naturales y Renovables-UNAS/ Tingo María-Perú.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUILERA, N. 2000. Tratado de Edafología de México, Tomo I. Facultad de Ciencias Universidad Nacional Autónoma de México. 142 p.
- ALDY, J., ORSZAG, P., STIGLITZ, J. 2001. Climate change: an agenda for global collective action, pew center on global climate change. Prepared for the conference on “the timing of climate change policies”. 38 p.
- ALBRECHT, A., KANDJI, S. 2003. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 99(1-3): 15-27.
- ALPIZAR, L., OSES, H. 1988. Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica* L.) con Laurel (*Cordia alliodora*) y con poro (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. I Biomasa y reservas nutritivas. *Turrialba (IICA)*. 35(3): 233-242.
- ALPIZAR, L., FASSBENDER, H., HEUVELDOP, J. 1983. Estudios de sistemas agroforestales en el experimento central del CATIE, Turrialba. Departamento de recursos naturales Renovables, CATIE. Turrialba, Costa Rica. 14 p.

- ANDRADE, H., SEGURA, M., SOMARRIBA, E., VILLALOBOS, M. 2008. Valoración biofísica y financiera de la fijación de carbono por uso del suelo en fincas cacaoteras indígenas de Talamanca, Costa Rica. Agroforestería en las Américas N° 46
- ANDRADE, H., IBRAHIM, M. 2003. Cómo monitorear el secuestro de carbono en sistemas silvopastoriles? Revista Agroforestería en las Américas 10(39 - 40) :109 - 116.
- AREVALO L., ALEGRE y PALM, C. 2003. Manual de determinación de las reservas de carbono en los diferentes sistemas de uso de tierras en Perú. ICRAF, CODESU, INIA, INRENA. Ediciones Gráfica Miguel Álvarez.
- AVILA, G., JIMENEZ, F., BEER, J., GOMEZ, M., IBRAHIM, M. 2001. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. Agroforesteria en las américas. 32 p.
- ÁVILA, G. 2001. Almacenamiento, Fijación de Carbono y Valoración de Servicios Ambientales en Sistemas Agroforestales en Costa Rica. Avance de Investigación. Agroforesterías en las Américas.
- BAZZAZ, F., FAJER, D. 1992. Plant life in a CO<sub>2</sub>-rich world. Scientific American. January: 17-24.

- BEAUMONT, E. 1999. El protocolo de Kyoto y el mecanismo para un desarrollo limpio. Nuevas posibilidades para el sector forestal de América Latina y El Caribe. 90 p.
- BROWN, S., SADHE, J., CANNELL, M., KAUPI, P. 1996. Management of forestry for mitigation of greenhouse gas emissions, in working group II, second assessment report, intergovernmental panel on climate change, Cambridge University Press, Cambridge.
- CARRANZA, C., ALWARD, B. ECHEVERRIA, J., MEJIAS, R. 1996. Valoración de los servicios ambientales de los bosques de costa rica. Centro científico tropical ODA MINAE. San Jose, Costa Rica. 77 p.
- CARTER, M.R., 2002. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. Agron. J. 94:38-47.
- CONCHA, C., YARDA, T., PEREZ, T., 2007. Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L. en San Martín, Perú. Departamento académico de biología, Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú. 8p.
- CENTRO MUNDIAL DE AGROFORESTERÍA (ICRAF). 2009. Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. Lima, Perú. 79 p.

- DORAN, J., COLEMAN, D., BEZDICEK, D., STEWART, B. 1994. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, United States of America. Soil Science Society of America, Inc. 244 p.
- FRANZLUBBERS, A.J., HONS, F.M., Zuberer, D.A. 1995. Tillage and crop effects on seasonal dynamics on soil CO<sub>2</sub> evolution, water content, temperature, and bulk density. *Appl. Soil Ecol.*, 2: 95-109.
- GALLARDO, A. 2001. Descomposición de hojarasca en ecosistemas mediterráneos. Zamora y Pugnaire (editores) *Ecosistemas Mediterráneos. Análisis funcional. Textos universitarios n° 3*, CSIC y AEET, Castillo y Edisart p. 95-122.
- GAYOSO, J. 2006. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques nativos y plantaciones de Chile. IN *Revista Forestal Iberoamericana*. Universidad Austral de Chile
- GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO. 1995. Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), Cambio Climático, Segundo informe de evaluación, PNUMA – UNEP.
- INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS (INIA). 2002. Tecnologías y prácticas en el manejo de los recursos naturales para la recuperación de los suelos degradados. Santiago de Chile, Chile. 168 p.

- JACKSON, M. L., 1964. Análisis químico de suelos (Traducido por J. Beltrán). Ediciones Omega, S. A. Barcelona, España. 662 p.
- JACKSON, R., MOONEY, H., SCHULZE, E. 1997. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. Proc. Natl. Acad. Sci. USA (94): 7362-7366.
- LEÓN, E. 2006. La importancia del carbón mineral en el desarrollo. Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG 9(18): 91-97.
- MACDICKEN, K. 1997. A guide to Monitoring Carbón Storage in Forestry and Agroforestry Projects. Arlington, VA: Winrock International Institute for Agricultural Development. 43 p.
- MÁRQUEZ, L. 2000. Elementos técnicos para inventarios de carbono en uso del suelo. Fundación Solar. Guatemala. 31p.
- MCKNIGHT, T. 2000. Climate Zones and Types. Physical Geography: A Landscape Appreciation. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. 200 p.
- MOURA, P. 2001. La convención sobre el clima y el mercado de las contrapartes de las emisiones de carbono basadas en las actividades forestales. Unasylva 52(206): 34-40.

- 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. 44 – 45 p.
- ORTIZ, A., RIASCOS, L., SOMARRIBA, E. 2008. Almacenamiento y tasas de fijación de biomasa y carbono en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*) y laurel (*Cordia alliodora*). Costa Rica. Agroforestería en las Américas N° 46 2008.
- POVEDA, V., OROZCO, L., MEDINA, C., CERDA, R., LÓPEZ, A. 2013. Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de cacao en Waslala, Nicaragua. Agroforestería en las Américas N° 49.
- REDDY, M. 1991. Effects of soil amendments on the hardening of red sandy loams (chalka soils) of Andhra Pradesh. Ann. Agric. Res. 12, 174–176.
- ROBERT, M. 2001. Soil carbon sequestration for improvement land management. FAO. World Soil Resources Report n° 96. Rome.
- RUCKS, L., GARCÍA, F., KAPLÁN, A., PONCE DE LEÓN, J., HILL, M. 2004. Propiedades físicas del suelo. Montevideo, Uruguay. Universidad de la Republica. Facultad de Agronomía 68 p.

- RUIZ, B. 2007. Cálculo de la biomasa en especies arbóreas en el corregimiento de Pacurita, Quibdo-choco. Universidad Tecnológica Diego Luis Córdoba. Ingeniería Agroforestal VIII.
- SEGURA, A. 1999. Valoración del servicio ambiental de fijación y almacenamiento de carbono en bosques privados del Área de Conservación Cordillera Volcánica Central. Tesis Mag.Sc. Turrialba, Costa Rica. 115 p.
- SEGURA, M. 2005. Estimación del carbono almacenado y fijado en sistemas agroforestales indígenas con cacao en la zona de Talamanca, Costa Rica. Turrialba: Proyecto Captura de Carbono y Desarrollo de Mercados Ambientales en Sistemas Agroforestales Indígenas con Cacao en Costa Rica (TF-052118), 2005. 139 p. (Informe final de consultoría).
- VALLEJO, A., RODRIGUEZ, P. 2008. Cuantificación de carbono en proyectos REDD. Turrialba, Costa Rica. 51 p.
- VARGAS, G. 2000. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas de café bajo sombra, café a pleno sol, sistemas silvopastoriles y pasturas a pleno sol. Tesis. Msc. Sc. Turrialba, Costa Rica. 116 p.
- WALKLEY, A., BLACK, A. 1938. An examination of the Degtjareff's method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37: 29-38.

WONG, M., GIBBS, P., NORTCLIFF, S., SWIFT, R. 2000. Measurement of the acid neutralizing capacity of agroforestry tree prunings added to tropical soils. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*. 134: 269-276.

**X.ANEXOS**

## Anexo 1. Panel Fotográfico



Figura 8. Reconocimiento de la parcela con cacao



Figura 9. Toma de muestras de hojarasca



Figura 10. Muestras de hojarasca empaquetadas y codificadas



Figura 11. Medición de profundidad en la sub parcela del cultivo de cacao



Figura 12. Recolectando muestras de suelo para su posterior análisis en laboratorio



Figura 13. Extrayendo muestras de suelo en los cilindros para hallar la densidad aparente en el cultivo de café



Figura 14. Tamizado del suelo para hallar raíces menores a 4 mm de diámetro



Figura 15. Tamizado de suelo para análisis en el laboratorio



Figura 16. Pesado suelo para el análisis en laboratorio



Figura 17. Titulación para determinar el porcentaje de M.O.

## Anexo 2. Resultados de análisis de suelo



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
AV. UNIVERSITARIA S/N - TINGO MARIA - CELULAR 982047050 - 941531359  
Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos  
[analisisdesuelos@unaselva.edu.pe](mailto:analisisdesuelos@unaselva.edu.pe)



**ANÁLISIS DE SUELOS**

| SOLICITANTE: <b>JARA SANCHEZ RUBEN ANTONIO</b> |           |         |         |                   |           |        |      |      |      | PROCEDENCIA: <b>HERMILIO VALDIZAN LEONCIO PRADO HUANUCO</b> |        |     |      |      |   |    |      |      |      |       |       |       |
|------------------------------------------------|-----------|---------|---------|-------------------|-----------|--------|------|------|------|-------------------------------------------------------------|--------|-----|------|------|---|----|------|------|------|-------|-------|-------|
| DATOS DE LA MUESTRA                            |           |         |         |                   |           |        |      |      |      | CAMBIABLES Cmo(k)/kg                                        |        |     |      |      |   |    |      |      |      |       |       |       |
| N°                                             | COD. LAB. | SECTOR  | CULTIVO | ANÁLISIS MECÁNICO |           |        | pH   | M.O. | N    | P                                                           | K      | CIC | Ca   | Mg   | K | Na | Al   | H    | CICe | %     | %     | %     |
|                                                |           |         |         | Arena %           | Arcilla % | Limo % |      |      |      |                                                             |        |     |      |      |   |    |      |      |      |       |       |       |
| 1                                              | M01535    | LADERAS | CACAO 1 | 19.7              | 47.04     | 33.3   | 4.62 | 2.96 | 0.13 | 2.16                                                        | 120.45 | —   | 5.39 | 2.38 | — | —  | 1.09 | 0.39 | 9.24 | 84.02 | 15.98 | 11.77 |
| 2                                              | M01536    | LADERAS | CACAO 2 | 22.7              | 29.04     | 48.3   | 4.74 | 1.07 | 0.05 | 2.05                                                        | 50.98  | —   | 2.71 | 1.87 | — | —  | 1.34 | 0.33 | 6.25 | 73.22 | 26.78 | 21.43 |
| 3                                              | M01537    | LADERAS | CAFÉ    | 51.7              | 21.04     | 27.3   | 4.93 | 1.34 | 0.06 | 3.09                                                        | 68.97  | —   | 3.37 | 1.44 | — | —  | 0.35 | 0.24 | 5.40 | 89.06 | 10.94 | 6.51  |



MUESTREO POR EL SOLICITANTE  
RECIBO N° 0476981  
FECHA : 15/09/2016

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
LAB. ANÁLISIS DE SUELOS  
M.Sc. Bgo. Miguel Mayra Rojas  
J E F E

Anexo 3. Almacenamiento de carbono en el suelo en un SAF con cacao, parcela 1.

| SAF<br>Cacao | Peso<br>fresco<br>Pf (g.) | Peso<br>seco<br>Ps (g.) | Densidad<br>aparente<br>Da t/m3 | %<br>Mo | %<br>CO | CO g/kg<br>suelo | COS<br>t/Ha |
|--------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------------|---------|---------|------------------|-------------|
| 0-10         | 112                       | 106                     | 1.1954                          | 3.4     | 1.972   | 19.72            | 23.5745     |
| 10-20        | 118                       | 106                     | 1.2203                          | 3.1     | 1.798   | 17.98            | 21.9422     |
| 20-30        | 113                       | 103                     | 1.1616                          | 2.7     | 1.566   | 15.66            | 18.1911     |
| Total        |                           |                         |                                 |         |         |                  | 63.7079     |

Anexo 4. Almacenamiento de carbono en el suelo en un SAF con cacao, parcela 2.

| SAF<br>Cacao | Peso<br>fresco<br>Pf (g.) | Peso<br>seco<br>Ps (g.) | Densidad<br>aparente<br>Da t/m3 | %<br>Mo | %<br>CO | CO g/kg<br>suelo | COS<br>t/Ha |
|--------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------------|---------|---------|------------------|-------------|
| 0-10         | 115                       | 109                     | 1.1954                          | 3.6     | 2.088   | 20.88            | 24.9612     |
| 10-20        | 120                       | 108                     | 1.1954                          | 2.9     | 1.682   | 16.82            | 20.1077     |
| 20-30        | 112                       | 102                     | 1.1616                          | 2.4     | 1.392   | 13.92            | 16.1698     |
| Total        |                           |                         |                                 |         |         |                  | 61.2388     |

## Anexo 5. Almacenamiento de carbono en el suelo en un SAF con café, parcela

1.

| SAF   | Peso<br>fresco<br>Pf (g.) | Peso<br>seco<br>Ps (g.) | Densidad<br>aparente<br>Da t/m3 | %<br>Mo | %<br>CO | CO g/kg<br>suelo | COS<br>t/Ha |
|-------|---------------------------|-------------------------|---------------------------------|---------|---------|------------------|-------------|
| Cacao |                           |                         |                                 |         |         |                  |             |
| 0-10  | 141                       | 113                     | 1.2744                          | 3.6     | 2.088   | 20.88            | 26.6096     |
| 10-20 | 146                       | 112                     | 1.2894                          | 3.2     | 1.856   | 18.56            | 23.9321     |
| 20-30 | 171                       | 107                     | 1.2067                          | 0.3     | 0.174   | 1.74             | 2.0997      |
| Total |                           |                         |                                 |         |         |                  | 52.6415     |

## Anexo 6. Almacenamiento de carbono en el suelo en un SAF con café, parcela

2.

| SAF   | Peso<br>fresco<br>Pf (g.) | Peso<br>seco<br>Ps (g.) | Densidad<br>aparente<br>Da t/m3 | %<br>Mo | %<br>CO | CO g/kg<br>suelo | COS<br>t/Ha |
|-------|---------------------------|-------------------------|---------------------------------|---------|---------|------------------|-------------|
| Cacao |                           |                         |                                 |         |         |                  |             |
| 0-10  | 136                       | 108                     | 1.21801968                      | 3.4     | 1.972   | 19.72            | 24.019348   |
| 10-20 | 141                       | 107                     | 1.20674172                      | 3.2     | 1.856   | 18.56            | 22.3971262  |
| 20-30 | 166                       | 102                     | 1.15035192                      | 0.9     | 0.522   | 5.22             | 6.004837    |
| Total |                           |                         |                                 |         |         |                  | 52.4213112  |

## Anexo 7. Almacenamiento de carbono en hojarasca en un SAF con cacao

| N° | Muestra fresca (MF) | Peso Fresco submuestra Pf (kg.) | Peso seco submuestra Ps (kg.) | Biomasa seca t/ha | carbono en biomasa (t/ha) | carbono (t/ha) |
|----|---------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------|---------------------------|----------------|
| 1  | 0.637               | 0.2                             | 0.1691                        | 21.5433           | 10.7716                   | 11.1550        |
| 2  | 0.825               | 0.2                             | 0.15132                       | 24.9678           | 12.4839                   |                |
| 3  | 0.662               | 0.2                             | 0.1473                        | 19.5025           | 9.7512                    |                |
| 4  | 0.822               | 0.2                             | 0.1313                        | 21.5857           | 10.7928                   |                |
| 5  | 0.687               | 0.2                             | 0.1590                        | 21.8575           | 10.9287                   |                |
| 6  | 0.81                | 0.2                             | 0.1690                        | 27.3909           | 13.6954                   |                |
| 7  | 0.712               | 0.2                             | 0.1269                        | 18.0705           | 9.0352                    |                |
| 8  | 0.739               | 0.2                             | 0.1268                        | 18.7499           | 9.3749                    |                |
| 9  | 0.737               | 0.2                             | 0.1550                        | 22.8596           | 11.4298                   |                |
| 10 | 0.764               | 0.2                             | 0.1153                        | 17.6178           | 8.8089                    |                |
| 11 | 0.762               | 0.2                             | 0.17                          | 26.6258           | 13.3129                   |                |
| 12 | 0.789               | 0.2                             | 0.1442                        | 22.7642           | 11.3821                   |                |
| 13 | 0.787               | 0.2                             | 0.146                         | 22.9804           | 11.4902                   |                |
| 14 | 0.814               | 0.2                             | 0.1321                        | 21.5140           | 10.7570                   |                |
| 15 | 0.805               | 0.2                             | 0.1732                        | 27.8884           | 13.9442                   |                |
| 16 | 0.791               | 0.2                             | 0.1784                        | 28.2276           | 14.1138                   |                |
| 17 | 0.83                | 0.2                             | 0.1168                        | 19.3921           | 9.6960                    |                |
| 18 | 0.812               | 0.2                             | 0.1263                        | 20.5176           | 10.2588                   |                |
| 19 | 0.831               | 0.2                             | 0.1595                        | 26.5122           | 13.2561                   |                |
| 20 | 0.816               | 0.2                             | 0.0958                        | 15.6345           | 7.81728                   |                |

## Anexo 8. Almacenamiento de carbono en hojarasca en un SAF con café

| N° | Muestra fresca (MF) | Peso Fresco submuestra Pf (kg.) | Peso seco submuestra Ps (kg.) | Biomasa seca t/ha | carbono en biomasa (t/ha) | carbono (t/ha) |
|----|---------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------|---------------------------|----------------|
| 1  | 0.508               | 0.2                             | 0.0948                        | 9.6316            | 4.8158                    | 6.6508         |
| 2  | 0.6                 | 0.2                             | 0.0934                        | 11.208            | 5.604                     |                |
| 3  | 0.438               | 0.2                             | 0.0971                        | 8.5059            | 4.2529                    |                |
| 4  | 0.582               | 0.2                             | 0.1283                        | 14.9341           | 7.4670                    |                |
| 5  | 0.56                | 0.2                             | 0.1082                        | 12.1184           | 6.0592                    |                |
| 6  | 0.54                | 0.2                             | 0.0919                        | 9.9252            | 4.9626                    |                |
| 7  | 0.624               | 0.2                             | 0.0925                        | 11.544            | 5.772                     |                |
| 8  | 0.512               | 0.2                             | 0.121                         | 12.3904           | 6.1952                    |                |
| 9  | 0.627               | 0.2                             | 0.0935                        | 11.7249           | 5.8624                    |                |
| 10 | 0.528               | 0.2                             | 0.0798                        | 8.4268            | 4.2134                    |                |
| 11 | 0.62                | 0.2                             | 0.13258                       | 16.4399           | 8.2199                    |                |
| 12 | 0.458               | 0.2                             | 0.1653                        | 15.1414           | 7.5707                    |                |
| 13 | 0.602               | 0.2                             | 0.14175                       | 17.0667           | 8.5333                    |                |
| 14 | 0.58                | 0.2                             | 0.16138                       | 18.7200           | 9.3600                    |                |
| 15 | 0.562               | 0.2                             | 0.13036                       | 14.6524           | 7.3262                    |                |
| 16 | 0.532               | 0.2                             | 0.13716                       | 14.5938           | 7.2969                    |                |
| 17 | 0.532               | 0.2                             | 0.12585                       | 13.3904           | 6.6952                    |                |
| 18 | 0.615               | 0.2                             | 0.11634                       | 14.3098           | 7.1549                    |                |
| 19 | 0.548               | 0.2                             | 0.16548                       | 18.1366           | 9.0683                    |                |
| 20 | 0.586               | 0.2                             | 0.11239                       | 13.1721           | 6.586054                  |                |

Anexo 9. Almacenamiento de carbono en raíces finas en un SAF con cacao,  
parcela 1

| Estrato  | Peso húmedo<br>kg. | Peso seco<br>kg | Biomasa<br>kg/m <sup>2</sup> | CO<br>kg/m <sup>2</sup> | C t/ha |
|----------|--------------------|-----------------|------------------------------|-------------------------|--------|
| 0-10     | 0.057              | 0.027           | 0.375                        | 0.1875                  | 1.875  |
| 10 - 20. | 0.007              | 0.002           | 0.0277                       | 0.0138                  | 0.139  |
| 20 - 30. | 0.002              | 0.001           | 0.011                        | 0.0055                  | 0.056  |
| Total    |                    |                 |                              |                         | 2.069  |

Anexo 10. Almacenamiento de carbono en raíces finas en un SAF con cacao,  
parcela 2

| Estrato  | Peso húmedo<br>kg | Peso seco<br>kg | Biomasa<br>kg/m <sup>2</sup> | CO<br>kg/m <sup>2</sup> | C t/ha |
|----------|-------------------|-----------------|------------------------------|-------------------------|--------|
| 0-10     | 0.059             | 0.031           | 0.4305                       | 0.2152                  | 2.153  |
| 10 - 20. | 0.016             | 0.003           | 0.0416                       | 0.0208                  | 0.208  |
| 20 - 30. | 0.003             | 0.002           | 0.0222                       | 0.0111                  | 0.111  |
| Total    |                   |                 |                              |                         | 2.472  |

Anexo 11. Almacenamiento de carbono en raíces finas en un SAF con café,  
parcela 1

| Estrato  | Peso húmedo<br>kg | Peso seco<br>kg | Biomasa<br>kg/m <sup>2</sup> | CO<br>kg/m <sup>2</sup> | C t/ha |
|----------|-------------------|-----------------|------------------------------|-------------------------|--------|
| 0-10     | 0.019             | 0.006           | 0.0833                       | 0.0416                  | 0.4167 |
| 10 - 20. | 0.009             | 0.003           | 0.0416                       | 0.0208                  | 0.2083 |
| 20 - 30. | 0.008             | 0.002           | 0.0222                       | 0.0111                  | 0.1111 |
| Total    |                   |                 |                              |                         | 0.7361 |

Anexo 12. Almacenamiento de carbono en raíces finas en un SAF con café,  
parcela 2

| Estrato  | Peso húmedo<br>kg | Peso seco<br>kg | Biomasa<br>kg/m <sup>2</sup> | CO<br>kg/m <sup>2</sup> | C t/ha |
|----------|-------------------|-----------------|------------------------------|-------------------------|--------|
| 0-10     | 0.023             | 0.01            | 0.1388                       | 0.0694                  | 0.694  |
| 10 - 20. | 0.011             | 0.006           | 0.0833                       | 0.0416                  | 0.417  |
| 20 - 30. | 0.007             | 0.003           | 0.0333                       | 0.0166                  | 0.167  |
| Total    |                   |                 |                              |                         | 1.278  |

## Anexo 13. Densidad del SAF con cacao, parcela 1

| Estrato  | Peso húmedo<br>kg | Peso seco<br>kg | Medidas cilindro |       | Área<br>cm <sup>2</sup> | Volumen<br>cm <sup>3</sup> | Densidad<br>g/cm <sup>3</sup> |
|----------|-------------------|-----------------|------------------|-------|-------------------------|----------------------------|-------------------------------|
|          |                   |                 | Altura           | Radio |                         |                            |                               |
| 0-10     | 112               | 106             | 4.9              | 2.4   | 18.0956                 | 88.6685                    | 1.1954                        |
| 10 - 20. | 118               | 106             | 4.8              | 2.4   | 18.0956                 | 86.8589                    | 1.2203                        |
| 20 - 30. | 113               | 103             | 4.9              | 2.4   | 18.0956                 | 88.6685                    | 1.1616                        |

## Anexo 14. Densidad del SAF con cacao, parcela 2

| Estrato  | Peso húmedo<br>kg | Peso seco<br>kg | Medidas cilindro |       | Área<br>cm <sup>2</sup> | Volumen<br>cm <sup>3</sup> | Densidad<br>g/cm <sup>3</sup> |
|----------|-------------------|-----------------|------------------|-------|-------------------------|----------------------------|-------------------------------|
|          |                   |                 | Altura           | Radio |                         |                            |                               |
| 0-10     | 115               | 106             | 4.9              | 2.4   | 18.0956                 | 88.6685                    | 1.1954                        |
| 10 - 20. | 120               | 106             | 4.9              | 2.4   | 18.0956                 | 88.6685                    | 1.1954                        |
| 20 - 30. | 111               | 103             | 4.9              | 2.4   | 18.0956                 | 88.6685                    | 1.1616                        |

## Anexo 15. Densidad del SAF con café, parcela 1

| Estrato  | Peso húmedo<br>kg | Peso seco<br>kg | Medidas cilindro |       | Área cm <sup>2</sup> | Volumen<br>cm <sup>3</sup> | Densidad<br>g/cm <sup>3</sup> |
|----------|-------------------|-----------------|------------------|-------|----------------------|----------------------------|-------------------------------|
|          |                   |                 | Altura           | Radio |                      |                            |                               |
| 0-10     | 141               | 113             | 4.9              | 2.4   | 18.0956              | 88.6685                    | 1.2744                        |
| 10 - 20. | 146               | 112             | 4.8              | 2.4   | 18.0956              | 86.8589                    | 1.2894                        |
| 20 - 30. | 171               | 107             | 4.9              | 2.4   | 18.0956              | 88.6685                    | 1.2067                        |

## Anexo 16. Densidad del SAF con café, parcela 2

| Estrato  | Peso<br>húmedo<br>kg | Peso<br>seco<br>kg | Medidas<br>cilindro |       | Área cm <sup>2</sup> | Volumen<br>cm <sup>3</sup> | Densidad<br>g/cm <sup>3</sup> |
|----------|----------------------|--------------------|---------------------|-------|----------------------|----------------------------|-------------------------------|
|          |                      |                    | Altura              | Radio |                      |                            |                               |
| 0-10     | 141                  | 108                | 4.9                 | 2.4   | 18.0956              | 88.6685                    | 1.2180                        |
| 10 - 20. | 146                  | 107                | 4.9                 | 2.4   | 18.0956              | 88.6685                    | 1.2067                        |
| 20 - 30. | 171                  | 102                | 4.9                 | 2.4   | 18.0956              | 88.6685                    | 1.1503                        |

## Anexo 17. Almacenamiento de carbono en el suelo de dos sistemas agroforestales (suelo, hojarasca y raíces finas)

| Fuente       | SAF cacao<br>C t/ha | SAF café<br>C t/ha |
|--------------|---------------------|--------------------|
| Suelo        | 62.4733898          | 52.5314217         |
| Hojarasca    | 11.1550734          | 6.6508246          |
| Raicillas    | 2.27083333          | 1.00694444         |
| Total C t/ha | 75.899              | 60.189             |

Anexo 18. Análisis estadístico para comparar la densidad aparente

| Grupos    | Cuenta | Suma | Promedio   | Varianza   |
|-----------|--------|------|------------|------------|
| Columna 1 | 3      | 3,58 | 1,19333333 | 0,00093333 |
| Columna 2 | 3      | 3,77 | 1,25666667 | 0,00173333 |

| Origen de variaciones | Suma de cuadrados | Grados libertad | Promedio cuadrados | F      | Probabilidad | Valor crítico F |
|-----------------------|-------------------|-----------------|--------------------|--------|--------------|-----------------|
| Entre grupos          | 0,00601667        | 1               | 0,00601667         | 4,5125 | 0,10085667   | 7,70864742      |
| Dentro de los grupos  | 0,00533333        | 4               | 0,00133333         |        |              |                 |
| Total                 | 0,01135           | 5               |                    |        |              |                 |