

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS EN CONSERVACION DE
SUELOS Y AGUA**



**DETERMINACIÓN DE RESERVAS DE CARBONO EN LA BIOMASA
BAJO EL SUELO EN CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN LA
PROVINCIA DE LEONCIO PRADO**

Tesis

Para optar el título de:

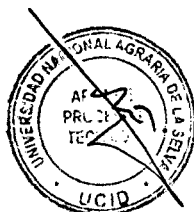
**INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES
MENCIÓN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**

CINTIA TRELLES FERNÁNDEZ

PROMOCIÓN 2010 - I

Tingo María - Perú

2012



P01

T79

Trelles Fernandez, Cintia

Determinación de reservas de carbono en la Biomasa bajo el suelo en cultivo de Cacao (*Theobroma cacao* L.) Tingo María 2012

75 páginas.; 12 cuadros; 13 fgrs.; 51 ref.; 30 cm.

Tesis (Ing. Recursos Naturales Renovables Mención: Conservación de Suelos y Agua) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María (Perú). Facultad de Recursos Naturales Renovables.

1. CARBONO

2. THEOBROMA CACAO

3. SUELO

4. BIOMASA

5. RAIZ

6. RESERVAS



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 06 de julio del 2012, a horas 07:18 p.m. en la Sala de Grados de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para calificar la Tesis titulada:

“DETERMINACIÓN DE LAS RESERVAS DE CARBONO EN LA BIOMASA BAJO EL SUELO EN EL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN LA PROVINCIA DE LEONCIO PRADO”

Presentado por la Bachiller: **CINTIA TRELLES FERNANDEZ**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobada con el calificativo de **“BUENO”**.

En consecuencia la sustentante queda apta para optar el **Título de INGENIERO en RECURSOS NATURALES RENOVABLES, mención CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para la otorgación del título correspondiente.

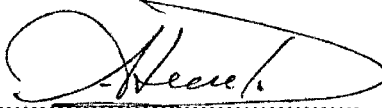
Tingo María, 24 de Julio del 2012


.....
Ing. M.Sc. YTAVCLERH VARGAS CLEMENTE
Presidente


.....
Ing. WARREN RÍOS GARCÍA
Vocal


.....
Ing. TANIA GUERRERO VEJARANO
Vocal


.....
Ing. M.Sc. VICENTE POCOMUCHA POMA
Asesor


.....
Dr. JORGE RÍOS ALVARADO
Asesor

DEDICATORIA

A Dios por su bondad infinita.

A mi madre, Esmeralda FERNÁNDEZ SOLÍS, por su amor, sus sabios consejos y su fe inquebrantable en mi destino; por haberme dado el tesoro más grande en mi vida; mi eterno agradecimiento.

A mi hermana, Natalia TRELLES FERNÁNDEZ, por ser un gran respaldo en las circunstancias más difíciles.

A mi hermana, Evelyn TRELLES FERNÁNDEZ, por su paciencia infinita.

A mi tío, Yuri FERNÁNDEZ SOLÍS por ser un apoyo incondicional.

A Ulises RIVAS TORRES, persona muy especial por el amor, apoyo, paciencia y comprensión en todo momento.

AGRADECIMIENTO

A la UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA, alma mater que contribuyó para hacerme profesional.

A la Facultad De Recursos Naturales Renovables, mención Conservación de Suelos y Agua, por acogerme durante los ciclos académicos y hacerme parte del intercambio de ideas y conocimientos.

A la plana de docentes quienes de alguna manera inculcaron conocimientos técnicos y científicos durante mi formación profesional. De manera especial al Ing. Vicente POCOMUCHA y Jorge RÍOS, por su apoyo incondicional durante la ejecución y redacción del informe de tesis. Asimismo, al Ing. Rofner NELINO FLORIDA por su orientación y apoyo en la etapa de laboratorio del análisis de suelos. También a los integrantes del laboratorio de análisis de suelos de la facultad de recursos naturales renovables.

A mis amigos Reymundo Juan VARGAS ROJAS, Joe Frank GARCÍA ROSALES, Jessica PONCE FALCÓN, Yurana HERRERA ROSAS y Hellen RAZURI GARIBAY, por su apoyo en la etapa de campo y por haber compartido los buenos y malos momentos durante mi formación como profesional.

ÍNDICE GENERAL

Contenido

Pág.

| | | |
|--------|---|----|
| I. | INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. | REVISIÓN DE LITERATURA | 4 |
| 2.1. | Sistemas agroforestales (SAFs) | 4 |
| 2.1.1. | Beneficios de los sistemas agroforestales | 5 |
| 2.1.2. | Carbono en sistemas agroforestales | 6 |
| 2.2. | El cacao | 8 |
| 2.2.1. | Origen y distribución geográfica..... | 8 |
| 2.2.2. | Producción de cacao en el Perú | 9 |
| 2.2.3. | Taxonomía y morfología del cacao | 10 |
| 2.2.4. | Manejo del cultivo (podas) | 16 |
| 2.3. | Las raíces..... | 16 |
| 2.3.1. | Crecimiento y funcionamiento de las raíces | 16 |
| 2.3.2. | Sistemas de las raíces | 17 |
| 2.3.3. | Factores internos que afectan el crecimiento de la raíz..... | 17 |

| | |
|---|----|
| 2.3.4. Factores ambientales que afectan el crecimiento de la raíz | 20 |
| 2.4. Almacenamiento y secuestro de carbono..... | 23 |
| 2.5. Almacenamiento de carbono en la biomasa subterránea (raíces)..... | 24 |
| 2.6. Captura de carbono en el suelo..... | 26 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS..... | 31 |
| 3.1. Ubicación del experimento..... | 31 |
| 3.1.1. Ubicación política | 31 |
| 3.1.2. Ubicación geográfica..... | 31 |
| 3.1.3. Condiciones climáticas y altitud | 31 |
| 3.1.4. Fisiografía..... | 32 |
| 3.1.5. Antecedentes del terreno | 32 |
| 3.2. Materiales y equipos | 33 |
| 3.2.1. Material vegetativo | 33 |
| 3.2.2. Sustrato | 34 |
| 3.2.3. Materiales de campo..... | 34 |
| 3.2.4. Herramientas de campo..... | 34 |
| 3.2.5. Equipo de campo | 34 |

| | |
|---|----|
| 3.2.6. Materiales de laboratorio..... | 34 |
| 3.2.7. Equipos de laboratorio | 34 |
| 3.2.8. Reactivos e insumos de laboratorio | 35 |
| 3.3. Metodología | 35 |
| 3.3.1. Planificación y selección de plantas..... | 35 |
| 3.3.2. Extracción del sistema radicular | 36 |
| 3.3.3. Obtención del peso fresco y peso seco | 39 |
| 3.3.4. Obtención de muestras de suelo para carbono orgánico y densidad aparente..... | 40 |
| 3.3.5. Procesamiento de datos en gabinete..... | 42 |
| 3.3.6. Variables dependientes..... | 46 |
| 3.3.7. Variables independientes..... | 46 |
| 3.3.8. Análisis estadístico..... | 46 |
| IV. RESULTADOS..... | 48 |
| 4.1. Biomasa radicular en cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)..... | 48 |
| 4.2. Carbono radicular en plantas de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) | 50 |
| 4.3. Relación del carbono radicular y aérea en las diferentes edades del cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)..... | 52 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.4. | Carbono acumulado en el suelo | 53 |
| V. | DISCUSIÓN | 55 |
| 5.1. | Biomasa radicular en cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) | 55 |
| 5.2. | Carbono radicular en plantas de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) | 57 |
| 5.3. | Relación del carbono radicular y aéreo en las diferentes edades cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) | 58 |
| 5.4. | Carbono acumulado en el suelo | 59 |
| VI. | CONCLUSIONES | 63 |
| VII. | RECOMENDACIONES | 64 |
| VIII. | ABSTRACT | 65 |
| IX. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 67 |
| X. | ANEXO | 75 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | Pág. |
|--|------|
| 1. Cantidades de materia seca incorporada anualmente a las raíces y los vástagos de diversas especies vegetales..... | 19 |
| 2. Radios de acción según DAP del árbol. | 25 |
| 3. Carbono orgánico en los suelos del mundo..... | 28 |
| 4. Biomasa radicular en plantas de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) con diferentes edades. | 48 |
| 5. Análisis de varianza para la variable biomasa en plantas de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) en diferentes edades..... | 49 |
| 6. Comparación en promedios de Duncan para la biomasa de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) en diferentes edades..... | 50 |
| 7. Carbono almacenado en la parte radicular del cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) | 50 |
| 8. Análisis de varianza respecto al carbono almacenado por planta de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) a diferentes edades..... | 51 |
| 9. Prueba Duncan respecto al carbono almacenado en cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) en diferentes edades..... | 52 |
| 10. Porcentaje de materia orgánica en plantaciones de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) a diferentes edades..... | 54 |

| | |
|--|----|
| 11. Porcentaje de carbono almacenado bajo profundidades de suelos con plantaciones de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) a diferentes edades. | 54 |
| 12. Carbono almacenado por horizonte de muestreo..... | 54 |
| 13. Datos obtenidos en cada planta sacrificada de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.). | 76 |
| 14. Antecedentes sobre biomasa en aguaje (<i>Mauritia flexuosa</i> L.f.). | 77 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|------|
| 1. Clasificación de los sistemas agroforestales (CONAFOR, 2007). | 4 |
| 2. Principales áreas de producción de cacao en el Perú (ARÉVALO <i>et al.</i> , 2004)..... | 9 |
| 3. Planta de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)..... | 12 |
| 4. Sistema radicular del cacao..... | 14 |
| 5. Entrada al predio del agricultor Jorge Arce, para realizar el experimento..... | 36 |
| 6. Medición del diámetro de tallo a 30 cm sobre la superficie del suelo en planta de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)..... | 37 |
| 7. Limpieza y corte de la planta de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)..... | 38 |
| 8. Extracción de la raíz de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)..... | 39 |
| 9. Determinación del peso fresco (izquierda) y peso seco (derecha) de las muestras de raíces. | 40 |
| 10. Parcela para muestreo de suelos (RÜGNITZ <i>et al.</i> , 2009). | 41 |
| 11. Biomasa radicular en plantas de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) bajo diferentes edades. | 49 |

| | | |
|-----|--|----|
| 12. | Carbono radicular en plantas de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) bajo diferentes edades. | 51 |
| 13. | Relación entre el carbono radicular y aéreo en plantas de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) a diferentes edades..... | 53 |
| 14. | Coordinación de las plantas a extraer con el propietario. | 79 |
| 15. | Medición del diámetro de tallo a 30 cm. | 79 |
| 16. | Limpieza de la hojarasca y herbácea para la extracción de la raíz..... | 80 |
| 17. | Extracción del sistema radicular de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) de un año de edad..... | 80 |
| 18. | Corte de raíz para la determinación del peso fresco. | 81 |
| 19. | Determinación del peso fresco total radicular por planta extraída..... | 81 |
| 20. | Cuadrante para muestreo de suelos ubicado al azar alrededor de las plantas a extraer..... | 82 |
| 21. | Muestreo de suelo con cilindro para determinar carbono orgánico y densidad aparente..... | 82 |
| 22. | Mezcla de suelos por profundidad para su respectivo análisis. | 83 |
| 23. | Peso seco de la muestra del sistema radicular en balanza analítica. | 83 |

| | | |
|-----|---|----|
| 24. | Acondicionamiento del cilindro con suelo para colocar en estufa..... | 84 |
| 25. | Codificado de envases para realizar el análisis de carbono orgánico..... | 84 |
| 26. | Preparación de solución en matraz Erlenmeyer para determinar carbono orgánico..... | 85 |
| 27. | Aplicación de agua destilada en la solución para determinar carbono orgánico..... | 85 |
| 28. | Ubicación de la parcela de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)..... | 86 |
| 29. | Ubicación de las plantas de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) dentro del predio..... | 87 |
| 30. | Análisis de suelos del predio de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) para determinar el porcentaje de carbono orgánico..... | 88 |
| 31. | Porcentaje de materia orgánica a diferentes profundidades del suelo en plantaciones de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) a uno, tres y cinco años de edad..... | 89 |
| 32. | Datos meteorológicos dentro del periodo de ejecución de la investigación..... | 90 |

RESUMEN

Con la finalidad de evaluar y estimar la reserva total de carbono en la biomasa del sistema radicular en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en diferentes edades (1, 3 y 5 años), se realizó una investigación en el sector de Puente Pérez, carretera Tingo María - Huánuco, a la margen derecha del río Huallaga, a 10 minutos de la ciudad de Tingo María, distrito de Rupa Rupa, Provincia de Leoncio Prado, región Huánuco. El diseño utilizado fue completamente al azar (VASQUEZ, 1990); se ha medido la circunferencia del tallo de cada planta de cacao a una altura de 30 cm sobre la superficie del suelo (LARREA, 2007) para determinar la biomasa aérea en las plantas, y con ello obtener una relación porcentual raíz/vástago, luego se realizó la extracción de sus raíces (GAYOSO *et al.*, 2000) para determinar el carbono almacenado; también se realizó un muestreo de suelos (RÜGNITZ *et al.*, 2009) que fue modificado en profundidades de 0 – 5 cm, 5 – 10 cm y 10 – 15 cm para determinar el porcentaje de carbono.

La biomasa radicular acumulada en plantas de cacao con un año de establecido es de 0.51 t/ha, seguido el de tres años con 1.23 t/ha y el de cinco con 2.85 t/ha de peso en el cual se encontró mayor biomasa con respecto a las otras edades, estadísticamente presentó alta significancia; de manera similar la mayor cantidad de carbono radicular se encontró en plantas de cacao de cinco años de edad (1.33 tC/ha), seguido de tres (0.55 tC/ha) y un año (0.22 tC/ha); la relación de carbono en la parte radicular y aérea fue 15.22% (raíz) y

84.78% (aérea) a un año de edad; 12.34% (raíz) y 87.66% (aérea) a tres años de edad y 18.03% (raíz) y 81.97% (aérea) a las plantas con cinco años de edad, y la cantidad de carbono (%) en el suelo del cacaotal con cinco (5) años de edad es superior respecto a las demás edades; también la capa superior de suelo (0 – 5 cm) presenta mayor carbono de acuerdo a la profundidad en el perfil del suelo.

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático se ha constituido como una preocupación mundial en materia de ambiente y desarrollo, ya que representa una de las amenazas más preocupantes para el medio ambiente global, debido al efecto invernadero y los gases que lo producen tales como el dióxido de carbono (CO_2), el óxido nitroso, el metano, etc., los cuales provocan un aceleramiento del cambio climático produciendo cambios negativos significativos en el estado medio del sistema tierra – océano – atmósfera (IPCC, 2000). Una forma importante de mitigar este problema es a través del almacenamiento de carbono por la vegetación (biomasa) debido a que las plantas utilizan dióxido de carbono (CO_2) y liberan oxígeno (O_2) durante el proceso de la fotosíntesis; asimismo, almacenan carbono en sus estructuras leñosas por períodos prolongados, por lo que se les debe considerar como reservas naturales de carbono (ALEGRE *et al.*, 2000).

Schneider (1989), citado por FONSECA *et al.* (2009) indica que la biomasa de la vegetación leñosa no sólo es un depósito importante de CO_2 , sino también contribuye al almacenamiento de carbono en el suelo a través de la acumulación de la materia orgánica. En este sentido es importante medir la biomasa, estas mediciones proveen una estimación de la cantidad de carbono contenida en la vegetación (hojas, ramas, fuste y raíces). La biomasa

representa una medida indirecta de la cantidad de carbono que es almacenada por la vegetación leñosa (MÉNDEZ, 2002) y también permite establecer la cantidad de CO₂ que puede ser removida de la atmósfera por la planta (ÁVILA *et al.*, 2001).

El cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.), tiene mucha expectativa en la provincia de Leoncio Prado, donde se está incentivando activamente este cultivo en áreas agrícolas, y esto es una de las razones por las cuales despierta gran interés sobre el grado de eficiencia en la captura y almacenamiento de carbono, una prueba importante de ello es que se está realizando diversos estudios sobre la cantidad de carbono real que se encuentra en la parte aérea de este cultivo.

Ante la problemática planteada surge la interrogante de ¿Cuál es la cantidad real de carbono que puede almacenar el sistema radicular de la planta de cacao (*Theobroma cacao* L.) en tres edades diferentes (1, 3 y 5 años)?, con la finalidad de contrastar la hipótesis, que el sistema radicular del cacao (*Theobroma cacao* L.) almacena mayor contenido de carbono a mayor edad de plantación se realizó esta investigación.

Objetivo general

- Evaluar y estimar la reserva total de carbono en la biomasa bajo el suelo en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en diferentes edades (1, 3 y 5 años).

Objetivos específicos

- Determinar la biomasa en el sistema radicular de cacao (*Theobroma cacao* L.) a diferentes edades (1, 3 y 5 años).
- Determinar el carbono almacenado en el sistema radicular de cacao (*Theobroma cacao* L.) a diferentes edades (1, 3 y 5 años).
- Calcular la relación entre el carbono radicular y aérea en el cacao (*Theobroma cacao* L.) en las diferentes edades.
- Calcular el carbono almacenado a diferentes profundidades del suelo en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) a diferentes edades (1, 3 y 5 años).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Sistemas agroforestales (SAFs)

Son una forma de uso de la tierra en donde leñosas perennes interactúan biológicamente en un área con cultivos y/o animales; el propósito fundamental es diversificar y optimizar la producción respetando el principio de sostenibilidad (MANTAGNINI *et al.*, 1992).

Se trata del uso de una serie de técnicas que combinan la agronomía, la silvicultura y la zootecnia para lograr un adecuado manejo del conjunto y las interdependencias entre cada uno de sus elementos (CONAFOR, 2007).

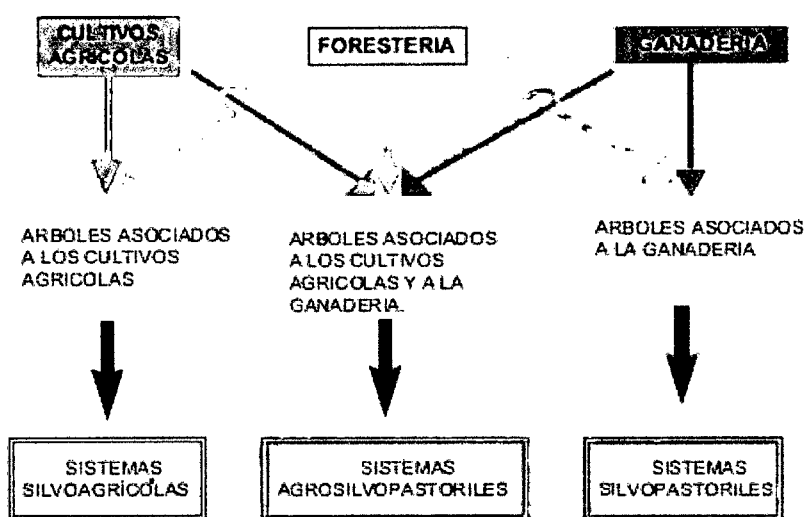


Figura 1. Clasificación de los sistemas agroforestales (CONAFOR, 2007).

2.1.1. Beneficios de los sistemas agroforestales

LÓPEZ (2007) indica que la creciente presión sobre el suelo debida a la explosión demográfica registrada en muchos lugares del trópico, puede conducir a la degradación del mismo, disminuir el rendimiento de los cultivos y a la invasión de hierbas difíciles de controlar, una de las alternativas para frenar este proceso es la explotación de la tierra a través de sistemas agroforestales o agroforestería; el cual tiene beneficios diversos como:

- Mejor utilización del espacio vertical y mayor aprovechamiento de la radiación solar entre los diferentes estratos vegetales del sistema.
- Mayor protección contra la erosión por el viento y el agua (menos impacto erosivo de las gotas de lluvia y escorrentía superficial).
- Mayor posibilidad de fijación de nitrógeno atmosférico mediante los árboles.
- Mantener la estructura y fertilidad del suelo: aportes de materia orgánica, mayor actividad biológica, reducción de la acidez, mayor extracción de nutrientes de los horizontes profundos del suelo (principalmente en zonas secas).
- Ayudar a recuperar suelos degradados.
- Se puede tener mayor producción y calidad de las cosechas en ambientes marginales.
- Proveer hábitat para mayor biodiversidad.
- Reducir la diseminación y daño por plagas y enfermedades.

- Reducir externalidades ecológicas (contaminación de suelos y de acuíferos).

Los sistemas agroforestales se consideran como un manejo sostenible de la tierra que incrementa su rendimiento integral, combina la producción de cultivos (incluidos cultivos arbóreos) y plantas forestales y/o animales, simultánea o secuencialmente en la misma unidad de tierra. El sistema mantiene o aumenta su productividad en el tiempo: producir conservando y conservar produciendo (JIMÉNEZ y MUSCHLER, 2001).

2.1.2. Carbono en sistemas agroforestales

ALEGRE *et al.* (2000) afirman que es conocido la capacidad de los ecosistemas agroforestales (asociación de árboles con otros cultivos, arbustos, herbáceas o pastos) para almacenar carbono en forma de biomasa aérea, varía en función de la edad, diámetro, altura de los componentes arbóreos como la densidad de población en cada estrato y comunidad vegetal.

DIXON (1995) menciona que los sistemas agroforestales (SAFs) ayudan a evitar el agotamiento de las reservas o almacenamientos naturales de carbono ya existentes, reduciendo la presión sobre los bosques. El componente arbóreo en los sistemas agroforestales pueden llegar a evitar la explotación de los bosques al suplir suficiente energía a bajos precios, y si la madera de los árboles es procesada, un 50 % de ella actúa como almacén de carbono hasta su descomposición.

KANNINEN (1997) indica que la capacidad de almacenar carbono de cualquier ecosistema terrestre depende principalmente de dos componentes: el área total de esos ecosistemas y el número de árboles por unidad de área. Los SAF pueden contener sumideros grandes de carbono y en algunos casos se asemejan a los encontrados en bosques secundarios. Asimismo, la cantidad de carbono acumulada en el suelo aumenta en los sistemas agroforestales.

Estudios realizados por DIXON (1995), revelan que el almacenamiento de carbono en SAFs, incluyendo el carbono del suelo, oscila entre 12 y 228 tC ha⁻¹ y que el potencial para la acumulación de carbono a través de la biomasa es mayor en el trópico húmedo. Mientras que FAO (2006) demostró que en plantaciones bajo cacao (*Theobroma cacao* L.) y bajo cacao - *Erythrina* sp., se puede fijar entre 10 y 22 tC ha⁻¹ año⁻¹, a los 10 años de edad, y que la cantidad de carbono secuestrado directamente por los árboles dentro de los diferentes SAFs se encuentra entre los valores de 3 a 25 tC ha⁻¹.

KANNINEN (1997) manifiesta que la tasa de absorción de carbono en los sistemas agroforestales, puede ser muy alta ya que la captura de carbono se efectúa tanto por los árboles como por los cultivos: de 2 a 9 tC/ha, dependiendo de la duración (15 a 40 años), asimismo describe el almacenamiento de carbono en la agroforestería en un estado inicial es de 8.9 tC/ha y a los 9 años de 24.1 tC/ha.

SCHROEDER (1994) menciona que en las áreas tropicales se puede obtener un almacenamiento de 21 a 50 tC/ha en zonas subhúmedas y húmedas respectivamente. Las raíces por sí solas podrían incrementar esos valores en 10%.

DIXON (1995) indica que la cantidad de carbono secuestrado directamente por los árboles dentro de los diferentes SAF oscila entre 3 a 25 tC ha⁻¹, siendo el potencial para el almacenamiento de carbono mayor en el trópico húmedo. Y que los sistemas agroforestales pueden mantener y hasta aumentar las reservas de carbono en la vegetación y en los suelos.

2.2. El cacao

El nombre cacao deriva de la palabra azteca "cacahoatl" o "cacahualt", que significa jugo amargo y el de chocolate deriva de la palabra maya "chocol" y "a" que significan caliente y agua, respectivamente. Los botánicos, basados en las creencias de los mayas y aztecas, denominaron al cacao con el nombre científico de "*Theobroma cacao* L.", que significa en latín "alimento de los Dioses", es una de las veintidós especies que constituyen el género *Theobroma* (SULLCA, 1992).

2.2.1. Origen y distribución geográfica

SULLCA (1992) señala que el cacao es nativo del Bosque Húmedo tropical (Bh-t) de América del Sur, de la cuenca del río Orinoco y río Amazonas. En esta zona denominada Orinoquia, surgió el primer espécimen de planta hace

aproximadamente 4,000 años; allí los primeros árboles del cacao crecían de forma natural a la sombra de las selvas tropicales. También refiere que las áreas cacaoteras están concentradas entre los 10 grados de latitudes norte y sur del Ecuador, distribuidas en el Oeste Africano, América Latina y Sur Este de Asia. El Oeste Africano produce 66.8 % de la producción mundial, América Latina 13.7% y Asia 19.5%.

2.2.2. Producción de cacao en el Perú

En el año 2003, la superficie cultivada de cacao a nivel nacional fue de 46,821 ha, con una producción de 25,687 t y rendimiento promedio de 549 Kg/ha, distribuidos de la siguiente manera: al norte con el 16%, al centro 28% y al sur 56% de la producción nacional (SULLCA, 1992)



Figura 2. Principales áreas de producción de cacao en el Perú (SULLCA, 1992).

También; refiere que los departamentos de mayor producción es Cusco (26%), Ayacucho (22%), Junín (14%), San Martín (13%), Amazonas (11%) y Huánuco (8%).

En las principales zonas cacaoteras del Perú las características fisiológicas de la planta de cacao son casi similares con mínimas diferencias entre una zona y otra, el conocimiento de las características genéticas y fisiológicas de la planta así como los factores externos que limitan la producción tales como enfermedades, insectos y el comportamiento del clima en cada zona son importantes para definir el plan de manejo integrado del cultivo (SULLCA, 1992).

2.2.3. Taxonomía y morfología del cacao

2.2.3.1. Taxonomía del cacao

La característica principal de esta especie es ser cauliflora, es decir produce sus flores y frutos en el tallo y ramas; el nombre *Theobroma*, significa alimento de los dioses, que se atribuye a las propiedades divinas que los indígenas consideraban en esta planta (SULLCA, 1992).

Cuatrecasas (1964), citado por ALVARADO (2011) en un principio lo había clasificado en la familia STERCULIACEAE, pero ALVERSON *et al.*, (1999), lo han reclasificado en la familia MALVACEAE del orden Malvales, género *Theobroma*, especie *Theobroma cacao* L.

Según CRONQUIST, 1999:

| | | |
|-----------|---|---------------------------|
| Reino | : | Plantae |
| División | : | MAGNOLIOPHITA |
| Clase | : | MAGNOLIOPSIDA |
| Sub Clase | : | Delimidae |
| Orden | : | Malvales |
| Familia | : | STERCULIACEAE |
| Género | : | <i>Theobroma</i> |
| Especie | : | <i>Theobroma cacao</i> L. |

2.2.3.2. Morfología del cacao

SULLCA (1992) señala que pocos son los vegetales que presentan un polimorfismo tan acentuado como el cacao. Después de la germinación epígea crece una planta que al llegar a su completo desarrollo debe tener una altura de 6 a 8 metros, además de las siguientes características:

- La planta

El árbol del cacao crece hasta una altura de 6 a 8 metros, aunque tiende a ser más baja cuando se le cultiva sin sombra; su corona es densa, redondeada y con un diámetro de 7 a 9 m. La planta se desarrolla como un

solo tronco sin ramificaciones, hasta una altura de 1 a 2 metros, presenta un tronco recto que se puede desarrollar en formas muy variadas, según las condiciones ambientales (SULLCA, 1992).



Figura 3. Planta de cacao (*Theobroma cacao* L.)

- Las hojas

Simples, enteras y de color verde bastante variable (color café claro, morado o rojizo, verde pálido) y de pecíolo corto (WOOD, 1982).

Son de forma alargada, medianas y de color verde, algunas plantas tienen las hojas tiernas y de diferentes colores que pueden ser: café claro, verde pálido, morados o rojizos, según la variedad del cultivo (MINISTERIO DE AGRICULTURA, 2004).

- La inflorescencia y las flores

Los árboles de cacao son caulifloros, producen las flores en la madera vieja del tallo y las ramas principales; la inflorescencia se origina en una axila foliar, las flores son pequeñas y se producen al igual que los frutos, en racimos pequeños sobre el tejido maduro mayor de un año del tronco y de las ramas, alrededor de los sitios donde antes hubo hojas, las flores son pequeñas, se abren durante las tardes y pueden ser fecundadas durante todo el día siguiente. El cáliz es de color rosa con segmentos puntiagudos; la corola es de color blancuzco, amarillo o rosa, los pétalos son largos. La polinización es entomófila destacando una mosquita del género *Forcipomya* (WOOD, 1982).

- El fruto

De tamaño, color y formas variables, pero generalmente tienen forma de baya, de 30 cm de largo y 10 cm de diámetro, siendo lisos o acostillados, de forma elíptica y de color rojo, amarillo, morado o café. La pared del fruto es gruesa, dura o suave y de consistencia como de cuero. Los frutos se dividen interiormente en cinco celdas. La pulpa es blanca, rosada o café, de sabor ácido a dulce y aromática (WOOD, 1982).

- Las semillas

Las semillas son polimorfas, varían de elipsoides y ovoides a amigdaloides (forma de almendras), de sección redonda e irregularmente

comprimida (SULLCA, 1992), siendo el contenido de semillas por baya entre 20 a 40 de color blanco, café o morado, de sabor dulce o amargo (WOOD, 1982).

- El sistema radicular

La raíz primaria de las plántulas crece en forma recta hacia el interior del suelo. En etapas muy tempranas, se originan en el cuello raíces laterales a muy poca distancia de la superficie del terreno y en el árbol maduro se encuentra que la mayoría de las raíces secundarias se han originado en una capa superior del suelo de 15 a 20 cm de profundidad (WOOD, 1982).

SULLCA (1992) menciona que las raíces del cacaotero tienen las características de las plantas dicotiledóneas, es decir, se distingue: la raíz principal o pivotante), las raíces laterales (primarias, secundarias etc.) y los pelos absorbentes; se adapta a diferentes suelos.



Figura 4. Sistema radicular del cacao.

Además, SULLCA (1992) indica que después de la germinación de la semilla, la raíz crece rápidamente penetrando verticalmente en el suelo, mientras en la base del hipocótilo se originan las raíces laterales que se desarrollan horizontalmente a medida que se alarga la raíz principal. Esta última puede alcanzar unos 30 - 40 cm en los primeros 4 a 5 meses, de 70 a 80 cm entre los 5 y 6 años, dependiendo de las condiciones del suelo y de las atenciones dadas al cultivo, a los 10 años ya debe haber alcanzado su desarrollo definitivo, variando su longitud desde 0.80 m a 1.5 m, no siendo difícil conseguir plantas con raíces que sobrepasen los 2.5 m de profundidad.

El mismo autor menciona que la longitud varía de acuerdo a la estructura, textura y consistencia del suelo, también del nivel freático. La raíz es muy delicada, en suelos pedregosos crecerá torcida, en los compactos no penetrará, por esto se debe procurar que la débil raíz no se doble, y es preferible cortarla antes del transplante.

En cuanto al tipo de sistema radicular, SULLCA (1992) indica que dependerá del sistema de propagación empleado; cuando se usan semillas (sexuales) la planta tendrá una raíz pivotante o principal, las plantas provenientes de estacas (reproducción asexual) tendrán raíces laterales y muy superficiales, en las plantas provenientes de chupones las raíces crecerán al principio horizontalmente, pero luego profundizarán desarrollando raíces pivotantes.

2.2.4. Manejo del cultivo (podas)

La poda del cacao consiste en la eliminación de las partes vegetativas, improductivas o con problemas fitosanitarios en niveles no tolerables permitiéndole darle al árbol una estructura aérea balanceada y estimular la emisión de frutos. El árbol de cacao debe ser podado metódicamente desde su primera fase de crecimiento, con el fin de darle una buena formación y mantenerlo en condiciones de producción durante toda su vida. Para el manejo del cultivo de cacao se aplican los siguientes tipos de podas: de formación, que se realiza en los primeros años de vida; de mantenimiento, que se realiza en frecuencia anual; fitosanitaria, que consiste en eliminar material vegetativo enfermo; y de rehabilitación, que permite mejorar huertas cacaoteras viejas y poco productivas (PÉREZ, 2010).

2.3. Las raíces

2.3.1. Crecimiento y funcionamiento de las raíces

WILD (1992) indica que el suelo influye en la planta principalmente a través del sistema radicular, debido a su dificultad de medir estos sistemas en campo, el conocimiento de la interacción del suelo y raíces es incompleto.

Refiere además que, es raro que las raíces ocupen más del 5%, aproximadamente, del volumen del suelo, incluso en los 100 - 150 mm superiores, donde son más abundantes. Para muchos cultivos el volumen

ocupado decrece rápidamente con la profundidad y frecuentemente no es más de una centésima a una milésima de 1% a 0.5 m.

2.3.2. Sistemas de las raíces

WINTER (1981) afirma que el aspecto y conformación del sistema radicales dependen mucho de las condiciones exteriores. Se menciona que los cultivos que crecen con suministros abundantes de agua producen sistemas radicales limitadas a la superficie del suelo, mientras que las plantas con suministros de aguas diferentes echan raíces más profundas, mientras KRAMER (1987) añade que la extensión horizontal y vertical de los sistemas de raíces y el grado de bifurcación son importantes para el éxito de las plantas.

2.3.3. Factores internos que afectan el crecimiento de la raíz

2.3.3.1. Características hereditarias

KRAMER (1987) la importancia de los factores hereditarios que controlan el desarrollo de las raíces se comprueba siempre que cierto número de especies crecen unas al lado de otras en el mismo suelo. Algunas especies siempre producen sistemas de raíces axonomorfas y otras sistemas fasciculados. Algunas especies siempre tienen raíces profundas y otras siempre raíces superficiales, pero hay otras especies que siempre desarrollan distintos tipos de sistemas radicales en distintas clases de suelos. Las diferencias en el tipo de los sistemas radicales de los vástagos pueden afectar en forma significativa el establecimiento y supervivencia de los mismos.

2.3.3.2. Relación entre raíz y vástago

KRAMER (1987) menciona que existe información limitada respecto a la cantidad de materia seca incorporada a las raíces, comparada con los vástagos, en gran parte debido a la dificultad de obtener sistemas enteros de raíces. Aproximadamente el 40% de la materia seca de 28 especies de plantas herbáceas se encuentra en las raíces, siendo más elevado el porcentaje en cultivos de raíces y tubérculos como la remolacha (*Beta vulgaris* L.) y la papa (*Solanum tuberosum* L.) (Cuadro 1).

En cuatro especies de árboles, el 18% aproximadamente de la materia seca se encontraba en las raíces. El sistema de raíces de pino de Monterey a los 18 años de edad comprende más o menos el 10% del peso total de los árboles. Estos datos sugieren que los estudios de la productividad neta pueden ser engañosos a menos que incluyan a las raíces, así como a los vástagos. Sobre las raíces y vástagos, este mismo autor señala que dependen unos de otros en varios aspectos y si el crecimiento de uno se encuentra muy modificado, lo probable es que al otro le suceda lo mismo.

Debido a que el crecimiento de la raíz depende de un abastecimiento de carbohidratos proporcionados por los vástagos, factores tales como la sombra y la reducción de la superficie de las hojas (que reducen la fotosíntesis); también reducen el crecimiento de la raíz. Un pastoreo excesivo y el corte frecuente del heno pueden reducir el peso seco de las raíces hasta 10% en las plantas de control (KRAMER, 1987).

Cuadro 1. Cantidades de materia seca incorporada anualmente a las raíces y los vástagos de diversas especies vegetales.

| Especies | Raíces (t/ha) | Vástagos (t/ha) | Porción raíz/vástago |
|--|------------------|--------------------|-------------------------|
| Arroz indígena (<i>Zizania aquatica</i> L.) | 0.60 | 4 | 0.15 |
| Cebada (<i>Hordeum vulgare</i> L.) | 3.00 | 12 | 0.25 |
| Pasto (<i>Andropogon acaparius</i> L.) (1er año) | 3.50 | 14.2 | 0.25 |
| Trigo (<i>Triticum vulgare</i> L.) (promedio) | 2.00 | 6.8 | 0.29 |
| Alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) (promedio) | 3.20 | 7.4 | 0.43 |
| Maíz (<i>Zea mays</i> L.) (promedio) | 4.50 | 8.7 | 0.52 |
| Papa (<i>Solanum tuberosum</i> L.) (promedio) | 4.00 | 2.6 | 1.54 |
| Remolacha (<i>Beta vulgaris</i> L.) (promedio) | 9.50 | 3.1 | 3.06 |
| Pino (<i>Pinus sylvestris</i> L.) (promedio) | 1.60 | 8.9 | 0.17 |
| Pice común (<i>Picea abies</i> L.) (promedio) | 2.10 | 11.9 | 0.18 |
| Haya común (<i>Fagus sylvatica</i> L.) (promedio) | 1.60 | 8.2 | 0.19 |

Fuente: De Bray (1962), citado por KRAMER (1987).

En cuanto al peso de la raíz, KRAMER (1987) indica que es expresado como fracción del peso total de la planta y cambia a lo largo de su desarrollo. En muchos cereales de zonas templadas varía desde 0.4 a 0.1 aproximadamente dependiendo de la etapa de crecimiento.

El aporte de nitrógeno puede tener un marcado efecto en la relación peso de la raíz-peso de la planta. En climas más áridos, donde los pesos totales de la planta son frecuentemente muy inferiores a los de los cultivos usados, las relaciones raíz: planta son generalmente más altas a lo largo del crecimiento.

WILD (1992) indica que se conocen poco los factores ambientales y fisiológicos que determinan la distribución de compuestos asimilados entre raíces y parte aérea, aunque algunos investigadores han sugerido que muchas plantas son antieconómicas al derivar demasiados compuestos asimilados al crecimiento radicular a expensas del crecimiento de la parte aérea y del rendimiento útil. Tales afirmaciones implican que hay posibilidades de cambiar el equilibrio entre crecimiento radicular y aéreo de manera controlada. La sombra reduce generalmente tanto el tamaño absoluto de los sistemas de raíces como la proporción entre raíces y vástagos. El desarrollo de frutos y semillas reduce a veces el crecimiento de la raíz; además de proporcionarles carbohidratos, los vástagos también abastecen a las raíces en hormonas (KRAMER, 1987).

2.3.4. Factores ambientales que afectan el crecimiento de la raíz

2.3.4.1. Humedad del suelo

KRAMER (1987) indica que un exceso o una deficiencia de agua del suelo limitan el crecimiento y funcionamiento de la raíz. Un exceso de agua en el suelo desplaza aire del espacio poroso no-capilar y produce una

deficiencia de oxígeno que provoca la muerte de muchas raíces. Una deficiencia hídrica irrumpe el crecimiento de la raíz y probablemente hay poco crecimiento de las raíces, si alguno, en suelos que tengan un contenido de agua próximo al porcentaje de agostamiento permanente.

2.3.4.2. Aereación del suelo

La respiración de las raíces y de los organismos del suelo tiende a reducir la cantidad de oxígeno e incrementar la concentración de bióxido de carbono. Puesto que esta actividad aumenta con la temperatura, esos cambios están más señalados en verano que en invierno. Son también más notables en un suelo con alto contenido de materia orgánica debido a la mayor actividad microbiana, que en un suelo que contenga poca materia orgánica. Hay un intercambio de gases por difusión entre suelo y aire (KRAMER, 1987).

El sistema radicular de la mayor parte de las plantas sólo crece vigorosamente en los suelos bien aereados, por ello las plantas tienen un sistema radicular más ramificado y más fino cuando se desarrollan en un suelo arenoso que en un suelo arcilloso (WINTER, 1981).

2.3.4.3. Temperatura del suelo

El crecimiento de la raíz suele encontrarse limitado o irrumpido por bajas temperaturas, y en ocasiones la superficie del suelo superficial se vuelve lo suficientemente calurosa como para detener el crecimiento de la raíz. La temperatura óptima varía según las especies, la etapa de desarrollo y el

abastecimiento en oxígeno, pero debe de ser de más o menos 20 a 25 °C para la mayoría de las especies (KRAMER, 1987).

2.3.4.4. Minerales, concentración de sal y pH

KRAMER (1987) indica que el pH del suelo y la clase de concentración de iones tienen importantes efectos sobre el crecimiento de la raíz. Una abundancia de ciertos elementos esenciales, especialmente fósforo y nitrógeno, estimula el crecimiento de las raíces pero más aún el crecimiento de los vástagos, de modo que la producción raíces/vástagos es generalmente más baja en un suelo fértil que en un suelo diferente a éste.

No se sabe acerca de los efectos de iones específicos, pero se reconoce que el fósforo estimula el crecimiento de las raíces y que las deficiencias de boro y de calcio en el ámbito de las raíces tienen por resultados ramas cortas y gruesas y causan la muerte de muchos puntos de raíces. La incapacidad, por parte de las raíces de penetrar profundamente en ciertos suelos se relaciona más estrechamente con la carencia de alimentos que con resistencia mecánica o aereación deficiente. De este modo, sucede a menudo que al aflojarse el subsuelo no se incrementa la profundidad de arraigo a menos que se le agreguen alimentos (KRAMER, 1987).

2.3.4.5. La luz

La luz es, normalmente, un factor del ámbito de la raíz por que la mayoría de las raíces se desarrollan en la oscuridad. Sin embargo, es

necesaria la luz de intensidad baja para el crecimiento próspero de muchas clases de raíces cortadas en cultivo, al parecer por que resulta necesario para la síntesis de un regulador de crecimiento (KRAMER, 1987).

2.3.4.6. Competencia e interacción de las raíces

Las dimensiones de los sistemas de raíces se encuentran usualmente muy reducidas cuando crecen en competencia con otros sistemas.

PRITCHETT (1986) considerando que las variaciones de la raíz entre los individuos de la misma especie, aun cultivados sobre suelos diferentes pueden ser tan grandes como las que existen entre especies diferentes cultivados en el mismo suelo.

Los sistemas radiculares de plantas de cebada y de trigo son casi 100 veces mayores cuando crecen sin competencia que cuando crecen en hileras separadas por 15 centímetros (KRAMER, 1987).

2.4. Almacenamiento y secuestro de carbono

QUINTEROS (2009) indica que el secuestro de carbono es un servicio ambiental basado en la capacidad de los árboles para absorber y almacenar el carbono atmosférico en forma de biomasa. Los niveles de absorción pueden ser mejorados con el manejo adecuado de los ecosistemas forestales, evitando su conversión en fuentes emisoras de gases de efecto invernadero (GEI), entre ellos se puede citar la fertilización de las

re poblaciones forestales, el establecimiento de especies con ciclos de corto a largo plazo, la calidad genética, entre otros.

ARÉVALO *et al.* (2003) afirman que la cantidad de carbono (C) secuestrado se relaciona a la capacidad del bosque de mantener una cierta cantidad de biomasa por hectárea, la cual está en función a su heterogeneidad y está determinada por las condiciones del suelo y el clima.

Sobre las plantas indica que tienen la capacidad de almacenar el dióxido de carbono de la atmósfera basado en el hecho de que durante la fotosíntesis se fija el carbono, que luego utilizan para generar el alimento necesario para su crecimiento, estimándose que una hectárea de plantación arbórea puede absorber alrededor de 10 t de carbono por hectárea / año de la atmósfera, dependiendo de las condiciones del lugar.

2.5. Almacenamiento de carbono en la biomasa subterránea (raíces)

DELGADILLO y QUECHULPA (2006) afirman que las raíces forman el “almacén” de carbono bajo el suelo. Los valores de fijación pueden obtenerse por medición directa. Su muestreo y medición requiere de invertir tiempo y recursos con resultados moderadamente precisos debido a la variabilidad de su distribución en el suelo.

Mac Dicken (1997) citado por FREITAS *et al.* (2006) indican que estimar la biomasa de las raíces representa entre un 10 y 40% de la biomasa. Habiendo dos formas de efectuar la determinación de biomasa radicular:

- Utilizando estimaciones conservadoras y poco controvertidas de biomasa radicular basada en la literatura para vegetación;
- Midiendo la biomasa radicular. Siendo la única ventaja de medir que en la mayoría de los casos la biomasa real medida va a ser mayor que los valores de bibliografía.

FREITAS *et al.* (2006) al analizar muestras de cada componente de un árbol de aguaje (*Mauritia flexuosa* L.f.), determinaron la fracción de carbono en la raíz encontrando un valor de 0.49098 tC/ha.

La determinación de la biomasa subterránea es un elemento de gran importancia debido a que ésta permite determinar los montos de carbono existentes en cada uno de sus componentes más aun sabiendo la gran dificultad operativa que conlleva a la extracción de las raíces de los árboles.

Se pueden definir los radios de acción para la extracción de las raíces según el DAP de la planta mediante los diámetros de las plantas:

Cuadro 2. Radios de acción según DAP del árbol.

| Rango de diámetro de la planta (cm) | Radio de acción - según influencia de raíces (m) |
|--|---|
| 5 – 10 | 1,0 – 1,5 |
| 10 – 20 | 1,5 – 2,2 |
| 20 – 35 | 2,0 – 2,5 |

| | |
|---------|-----------|
| 35 – 50 | 2,0 – 3,5 |
| >50 | 3,0 – 4,0 |

Fuente: GAYOSO (2000).

2.6. Captura de carbono en el suelo

BALESDENT *et al.* (1998) menciona que modelos recientes sobre el uso de la tierra sugieren que los sistemas terrestres pueden mitigar aproximadamente 20% del CO₂ atmosférico, debido al secuestro de carbono dentro de la vegetación y el suelo. Porque así el C se puede contener dentro del suelo por un tiempo de residencia mayor a mil años. El almacenamiento de este carbono depende de las variables climáticas (temperatura y precipitación) y del contenido de arcilla en el suelo.

La vegetación de sabana almacena la mayor cantidad de C en las raíces, el cual es posteriormente convertido en carbono orgánico en el suelo. Hasta los momentos, los sistemas de cultivo utilizados en la agricultura tienden a disminuir el C del suelo; sin embargo, el mejoramiento de cultivos y prácticas de manejo tienen el potencial de incrementar el C (BALESDENT, 1998).

A través del secuestro de carbono, los niveles del dióxido de carbono atmosférico se reducen en la misma medida que aumentan los niveles de carbono orgánico del suelo. Si el carbono orgánico del suelo no está alterado puede permanecer en el suelo por muchos años como materia orgánica estable. Este carbono es entonces secuestrado o removido del pool disponible para ser reciclado en la atmósfera. De esta forma se pueden reducir

los niveles de CO₂, disminuyendo las probabilidades de calentamiento global (MAC CRACKEN, 1985).

ÁVILA *et al.* (2001) indica que los efectos de almacenamiento de carbono en el suelo se deben a diversos factores tales como, la edad de las especies, la textura del suelo, cambio de uso del suelo, manejo de los cultivos, entre otros. Este mismo autor señala además que la edad de las especies repercute en un mayor desarrollo de las raíces y mejora la estructura del suelo, como también el aporte de biomasa aérea al suelo, constituyendo un aumento en el contenido de carbono del suelo.

ZAVALETA (1992) indica que el contenido de carbono disminuye respecto a la profundidad. Los horizontes superficiales de los suelos sometidos a laboreo suelen contener entre el 1 y el 3% de materia orgánica pero este contenido es, con frecuencia más elevado en los suelos de pradera y el de forestales. El contenido de materia orgánica en los suelos es muy variable y está condicionado en primera instancia por el clima y la vegetación o cultivo de cacao para el caso en estudio. JACKSON (1964) afirma que el carbono en los suelos puede encontrarse en forma orgánica e inorgánica.

La cantidad total de C orgánico almacenada en los suelos ha sido estimada por algunos métodos (SWIFT, 2001) y su valor es cercano a 1.500 Pg a 1 m de profundidad (SWIFT, 2001 y FAO, 2001). Estimaciones de C inorgánico dan valores de alrededor de 1.700 Pg C, principalmente en formas estables como CaCO₃ y MgCO₃, CaCO₃, CO₂, HCO₃ y CO₃= (FAO, 2001 y SWIFT, 2001). Los suelos que acumulan la mayor cantidad de COS (carbono

orgánico del suelo) corresponden al orden Histosol. Aun cuando el orden Histosol es el que tiene la menor superficie con respecto a otros órdenes, es el que tiene la mayor relación cantidad COS / superficie (MARTÍNEZ *et al.*, 2008).

Cuadro 3. Carbono orgánico en los suelos del mundo.

| Orden ¹ | Área (10 ³ km ²) | COS (Pg) ² | COS/Área (Pg 10 ⁻³ Km ²) |
|--------------------|---|-----------------------|---|
| Histosols | 1.745 | 357 | 0.205 |
| Andisols | 2.552 | 78 | 0.031 |
| Inceptisols | 21.58 | 352 | 0.016 |
| Spodosols | 4.878 | 71 | 0.015 |
| Mollisols | 5.48 | 72 | 0.013 |
| Oxisols | 11.772 | 119 | 0.01 |
| Entisols | 14.921 | 148 | 0.01 |
| Ultisols | 11.33 | 105 | 0.009 |
| Alfisols | 18.283 | 127 | 0.007 |
| Vertisols | 3.287 | 19 | 0.006 |
| Aridisols | 31.743 | 110 | 0.003 |
| Misceláneos | 7.644 | 18 | 0.002 |
| Total | 135.215 | 1.576 | 0.012 |

Fuente: ESWARAN *et al.* (1993).

¹ Soil Survey Staff (1996)

² Carbono orgánico del suelo. Soil organic carbon.

1 Pg = 10¹⁵ g

SWIFT (2001) indica que los suelos contienen más C que la suma existente en la vegetación y en la atmósfera; animales y microorganismos en forma de humus y en formas muy condensadas de composición próxima al C elemental (JACKSON, 1964). En condiciones naturales el C orgánico del suelo resulta del balance entre la incorporación al suelo del material orgánico fresco y la salida de C del suelo en forma de CO₂ a la atmósfera (SWIFT, 2001), erosión y lixiviación.

ÁVILA (2000) menciona que el contenido de carbono orgánico (CO) en el suelo llega a superar en dos ó tres veces los depósitos de C de la biomasa aérea mientras que las reservas de C total en el suelo representan 75 % del C almacenado en los ecosistemas terrestres.

MEDINA (1998) en estudios realizados en Jinotega, Nicaragua en contenidos de carbono de suelo a través del método de Walkley Black, en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) de diferentes edades (3 – 4 años, 8 – 9 años y 9 – 10 años) a diferentes profundidades encontró promedios de 75.72 tC/ha, 76.93 tC/ha y 96.75 tC/ha respectivamente para los rangos de edades de la plantación.

MORA (2001) en estudios realizados en la zona de Cartago, Costa Rica en pasturas de *Pennisetum clandestinum* con un almacenamiento de carbono de 100 tC/ha y 158 tC/ha en profundidades de suelo de 0 – 30 y de 30 – 60 cm.

RAMOS (2003) en estudios realizados en Esparza, Costa Rica en pasturas mejoradas con árboles un almacenamiento de carbono de 96.8 tC/ha, 29.7 tC/ha en profundidades de suelo de 0 – 10 cm y de 10 – 20 cm.

ÁVILA *et al.* (2001) en estudios realizados en Costa Rica en el suelo en un sistema agroforestal de café – eucalipto con edades de 4 y 6 años de edad encontró 139 tC/ha y 161 tC/ha de 6 años respectivamente.

RIOS (2007) determinó el carbono fijado en suelos con cultivo de coca (13.84 t/ha/año), sistema agroforestal de café (3.96 t/ha/año), sistema agroforestal de *Pupunha* spp. (1.91 t/ha/año), *Echinochloa polystachya* (4.58 t/ha/año), sistema agroforestal con cítrico (0.83 t/ha/año), sistema agroforestal de cacao mejorado (0.43 t/ha/año) y sistema agroforestal de cacao tradicional (3.27 t/ha/año)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del experimento

3.1.1. Ubicación política

La investigación fue realizada en el sector de Puente Pérez, carretera Tingo María – Huánuco, a la margen derecha del río Huallaga, a 10 minutos de la ciudad de Tingo María, en el distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco.

3.1.2. Ubicación geográfica

De acuerdo a la clasificación ecológica de las zonas de vida o formaciones vegetales del mundo, Tingo María se encuentra ubicada en la formación vegetal de Bosque muy Húmedo-Pre Montano Sub-Tropical (bmh-PST) (HOLDRIDGE, 1987). El sector Puente Pérez tiene las siguientes coordenadas UTM: 291917 (Este) y 8966753 (Norte).

3.1.3. Condiciones climáticas y altitud

Dentro del período de ejecución de la investigación (setiembre - diciembre del 2011), presentó una temperatura promedio a 25.2°C, precipitación 284.3 mm/mes, humedad relativa de 85.5% (Figura 32).

3.1.4. Fisiografía

La provincia de Leoncio Prado presenta la siguiente fisiografía:

Colinas bajas con pendientes que oscilan entre 15 y 50%, colinas altas, con topografía accidentada de contornos ondulados y cimas de formas generalmente aguzadas dependiendo del material de origen, presentan laderas largas de pendientes que varían entre 25 y 50%.

Montañas, con elevaciones de gran magnitud, desde 300 m hasta más de 1000 m, conformadas por las montañas bajas y altas. Relieve pronunciado sometido a un fuerte modelamiento natural ligado a su litología y estructura geológica. Presentan pendientes pronunciadas mayores a 50%.

3.1.5. Antecedentes del terreno

El terreno fue comprado en el año 1952 por el señor Alfonso ARCE, padre del propietario actual que es el señor Jorge ARCE, por el cual sólo le dieron constancia de posesión, el terreno se encuentra en los alrededores del Parque Nacional Tingo María (zona de amortiguamiento), tiene en total siete (07) hectáreas de extensión medido por el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA).

El señor Alfonso inicialmente instaló plátano, en el año de 1955 sembró café, pasando también por cultivos como maíz, yuca etc. en el año de 1970 plantó cacao de la variedad criolla, aunque no muy tecnificado ya que por

esos años los granos del cacao no eran muy rentables y sólo costaban S/. 2.00 el Kg. En la actualidad sólo hay referencia de 10 plantas de cacao desde aquella época y en 1990 sembró papaya, que colapsó debido al uso de productos químicos supuestamente (herbicidas entre otros) que el CORAH hizo caer mediante fumigaciones con helicópteros para matar cultivos de coca que existía en parcelas vecinas.

El actual dueño, el señor Jorge ARCE, sembró en el año 2009 plátano de la variedad moquisho que viene cosechando y obteniendo ganancias. En la actualidad el cultivo principal es el cacao en su variedad CCN 51, el cual ocupa un espacio de 3 has de las 7 has que posee en total, en el terreno tiene sembrado cacao de distintas edades y muchas de ellas están en producción.

Este agricultor está asociado a la cooperativa DIVISORIA, con el cual están trabajando alrededor de 5 años de manera orgánica con bioles, gaycashi, bocashi; también cuenta con secadores en tarima con techo de plástico.

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Material vegetativo

Sistemas radiculares de cacao de la variedad CCN 51 de diferentes edades (1, 3 y 5 años), las cuales fueron escogidas de acuerdo a la disponibilidad de plantaciones con las tres edades en el mismo terreno.

3.2.2. Sustrato

Muestras de suelos extraídas en la zona de estudio a 3 diferentes profundidades (0 – 05 cm, 05 – 10 cm y de 10 – 15 cm).

3.2.3. Materiales de campo

Romanas de 5 y 25 kg, cilindros de metal (Ulhands) de 5 cm, soga de 5 m, wincha de 5 m, cinta métrica, rollos de rafia, plumón indeleble, costales, bolsas plásticas de 3 kg, bolsas plásticas de 6 kg, lapiceros, stickers, libreta de campo, tablero de campo.

3.2.4. Herramientas de campo

Lampa, pala recta, cuchillo, serrucho corto, machete, rastrillo, pico, tijera de podar.

3.2.5. Equipo de campo

Sistema de posicionamiento global (GPS)

3.2.6. Materiales de laboratorio

Vasos de precipitación de 50 ml y 100 ml, pipeta graduada de 10 ml, matraz Erlenmeyer de 150 ml, pizeta.

3.2.7. Equipos de laboratorio

Estufa eléctrica, titulador electrónico y balanza digital.

3.2.8. Reactivos e insumos de laboratorio

Bicromato de potasio 2N, sulfato ferroso amoniacal, di fenilamina sulfúrica, ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado al 96 %, sal de Mohr al 0.2 N y agua destilada.

3.3. Metodología

3.3.1. Planificación y selección de plantas

Primera actividad: se ubicó al agricultor con cultivo de cacao de diferentes edades, esta actividad fue proporcionada por la Cooperativa Agraria Cafetalera La Divisoria Ltda., la cual mediante los técnicos de campo lograron ubicar al agricultor que estuvo dispuesto a colaborar y sacrificar plantas de cacao para ejecutar la investigación, bajo la condición de reponer las plantas sacrificadas por plantas de cacao denominado criollo porcelana.

Posteriormente se realizó la coordinación con el propietario para las visitas correspondientes, debido a que se tenía que cruzar el río Huallaga y el único medio de transporte era una rondana (Figura 5). Una vez en el área, se realizó la entrevista al agricultor, el cual mencionó que las plantaciones con edades exactas establecidas en su terreno eran de tres edades, luego mediante el apoyo del propietario, se seleccionó las plantas a utilizar, escogiendo plantas con características de altura y diámetro de tallo similares para cada edad elegida. Se escogieron seis (06) plantas de uno, tres y cinco años de edad respectivamente que se encontraban a un distanciamiento

establecido de 3 m x 3 m asociados con plátano (*Musa sp.*), guaba (*Inga edulis* L.) y palto (*Persea americana* L.).



Figura 5. Entrada al predio del agricultor Jorge Arce, para realizar el experimento.

3.3.2. Extracción del sistema radicular

Una vez identificada la planta a sacrificar, se realizó la medición de la circunferencia del tallo de cada planta a una altura de 30 cm sobre la superficie del suelo, metodología utilizada por LARREA (2007) para determinar la biomasa aérea de cada planta; se utilizó el rastrillo para limpiar la hojarasca y las malezas considerando la proyección de copa de cada planta, luego se cortó cada planta a una altura de 50 cm desde el ras del suelo (Figura 6).



Figura 6. Medición del diámetro de tallo a 30 cm sobre la superficie del suelo en planta de cacao (*Theobroma cacao* L.).

Debido a las condiciones propias del terreno y la disponibilidad de plantas de cacao, se realizó la excavación y extracción de las raíces (Figura 7); guiado por la metodología de GAYOSO *et al.* (2000) con modificaciones al área de cultivo; se utilizó el rastrillo para delimitar el área de trabajo realizando un raspaje y extracción del suelo superficial con el objeto de visualizar la tendencia y dirección de las raíces, esta área de trabajo fue demarcada con un círculo considerando como centro el tocón de la raíz objetivo con un radio de acuerdo al diámetro de la planta (Cuadro 2).



Figura 7. Limpieza y corte de la planta de cacao (*Theobroma cacao* L.).

Una vez demarcada el área de trabajo, se identificó alrededor de la zona las bolsas plásticas para la recolección de aquellas raíces que fueron rotas accidentalmente durante el proceso de excavación. Utilizando herramientas como: el pico, la pala recta, la pala cuchara se procedió a cavar un hoyo en la periferie de la zona demarcada, lo cual fue realizado en el sector más bajo de la pendiente. En el proceso se extrajo la tierra suelta y se depositó fuera de la zona demarcada, se avanzó desprendiendo poco a poco las raíces del suelo hasta soltar la raíz completa. Cuando algunas raíces se evidenciaban fuera de la zona demarcada se le hacía un seguimiento manual del total de su longitud para poder extraerlas. Una vez suelta la raíz se pudo realizar fácilmente la extracción (Figura 8).



Figura 8. Extracción de la raíz de cacao (*Theobroma cacao* L.).

3.3.3. Obtención del peso fresco y peso seco

Para realizar este proceso se utilizó la metodología desarrollada por GAYOSO *et al.* (2000).

Las raíces fueron colocadas en bolsas plásticas previamente identificadas con la edad y número de raíz de las plantas de cacao extraídas, para ser llevadas a una balanza donde se determinó el peso fresco total de las raíces, luego se realizó la extracción de muestras con pesos de 200 g perteneciente a cada planta, estas muestras fueron llevadas al laboratorio donde se envolvieron con papel periódico e identificaron correctamente para luego colocarlas en la estufa a una temperatura de 105 °C hasta obtener peso constante, una vez logrado el proceso, las muestras fueron llevadas a una

balanza digital con la cual se logró adquirir el peso seco de las muestras (Figura 9).

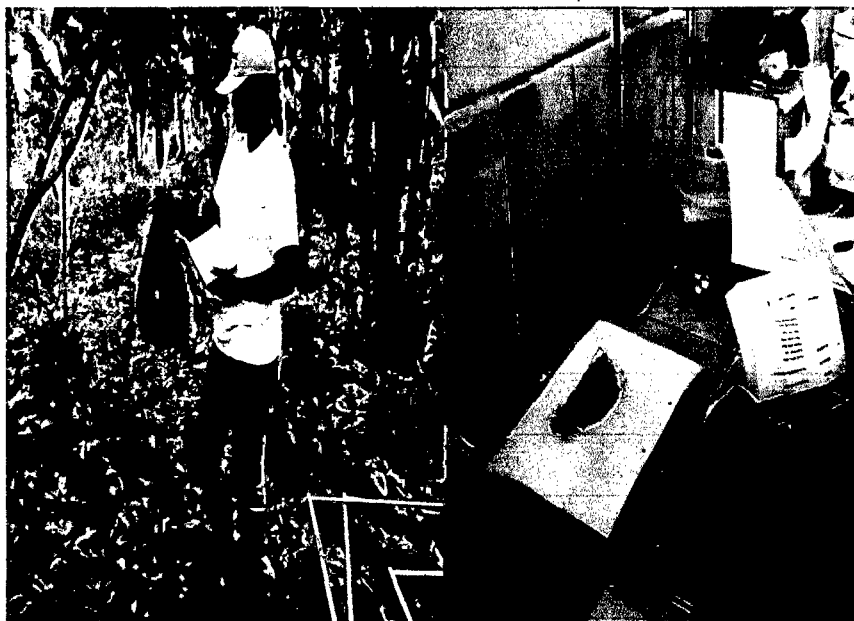


Figura 9. Determinación del peso fresco (izquierda) y peso seco (derecha) de las muestras de raíces.

3.3.4. Obtención de muestras de suelo para carbono orgánico y densidad aparente

Durante la obtención de muestras de suelo para el cálculo de carbono y densidad aparente se utilizó la metodología desarrollada por RÜGNITZ *et al.* (2009) y modificada de acuerdo a las condiciones del lugar.

Alrededor de cada grupo de plantas de cacao de cada edad se ubicó al azar un cuadrante con dimensiones de 1 metro de largo y 1 metro de ancho, dentro del cual se colectaron tres muestras de suelo para el cálculo del

carbono orgánico y tres muestras de suelo para el cálculo de la densidad aparente, todo ello para cada profundidad de muestreo (0 – 5 cm, 5 – 10 cm y 10 – 15 cm) (Figura 10); se utilizó un cilindro metálico (ulhands) con volumen conocido (62.8 cm^3) para la extracción. Las muestras extraídas para el cálculo del carbono orgánico fueron separadas de los cilindros y mezcladas (homogenizadas) en un mismo recipiente de acuerdo a su profundidad, luego se retiró una muestra compuesta de 200 gr de cada profundidad, para ser llevada al laboratorio previa identificación de acuerdo a la edad de cada planta y profundidad de muestreo; en el caso de las muestras extraídas para el cálculo de la densidad aparente las muestras de suelo se mantuvieron en los cilindros y fueron llevados al laboratorio con su respectiva identificación.

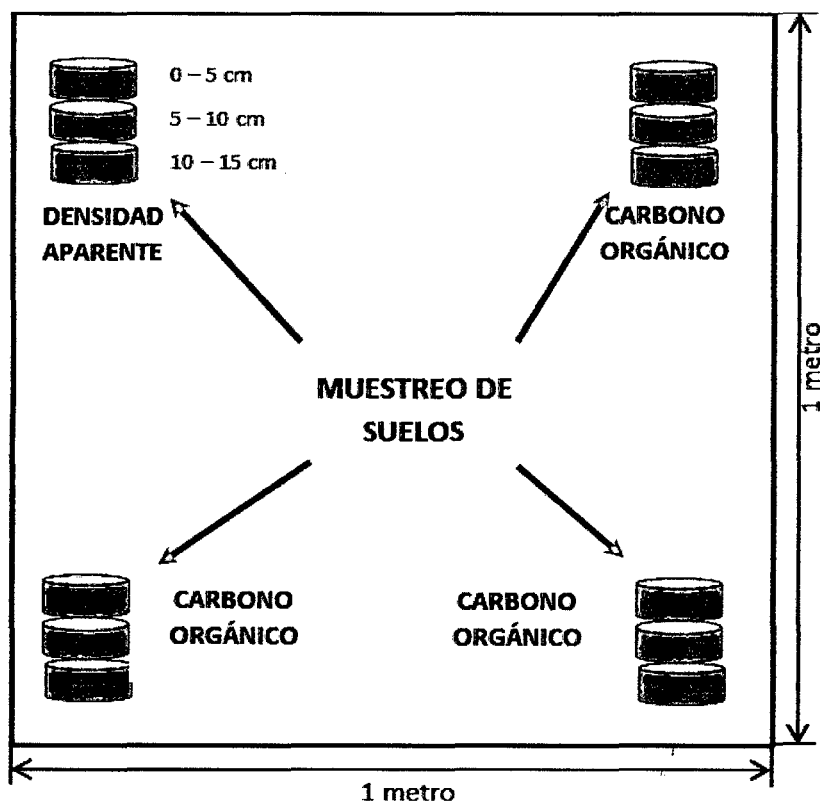


Figura 10. Parcela para muestreo de suelos (RÜGNITZ *et al.*, 2009).

3.3.5. Procesamiento de datos en gabinete

3.3.5.1. Biomasa en el sistema radicular del cacao (*Theobroma cacao* L.)

Para determinar la biomasa radicular en cada planta de cacao (*Theobroma cacao* L.) se utilizó la siguiente fórmula:

$$BR \text{ (kg planta}^{-1}\text{)} = ((PSM/PFM)*PFT)$$

Donde:

| | |
|-----|---|
| BR | = Biomasa radicular/planta, materia seca. |
| PSM | = Peso seco de la muestra colectada |
| PFM | = Peso fresco de la muestra colectada |
| PFT | = Peso fresco total radicular por planta |

3.3.5.2. Carbono en el sistema radicular del cacao (*Theobroma cacao* L.)

Para la determinación del carbono radicular almacenado por planta, se utilizó la fórmula:

$$\text{Carbono planta}^{-1} : BR * 0.45$$

Donde:

| | |
|----|---|
| BR | = Biomasa radicular/planta, materia seca. |
|----|---|

3.3.5.3. Relación del carbono radicular y aéreo en las diferentes edades del cacao (*Theobroma cacao* L.)

Se determinó la relación encontrada entre la biomasa del sistema radicular y el tallo (LARREA, 2007) con respecto al carbono almacenado en cada planta y de cada edad, estas relaciones fueron representadas de manera porcentual. Para la biomasa aérea del cacao se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Biomasa (Kg)} = 0.4849 \text{ Diámetro}^{1.42}$$

Diámetro : Diámetro a 30 cm sobre la superficie del suelo.

3.3.5.4. Determinación del carbono acumulado en el suelo

a. Densidad aparente del suelo

La fórmula empleada para la densidad aparente del suelo fue:

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

Donde:

DA (gr/cc) = Densidad aparente, en g/cc

PSN = Peso seco del suelo dentro del cilindro

VCH = Volumen del cilindro (constante - 62.8 cm³)

b. Determinación de materia orgánica (método de Walkley Black) modificado por FLORIDA y LOPEZ (2011)

Se pesó 1 g de la muestra de suelo en la balanza digital, luego se depositó la muestra en un matraz Erlenmeyer de 250 ml, donde se agregó 10 ml de bicromato de potasio a 2N y se añadió 10 ml de ácido sulfúrico Q.P 96%.

Se mezcló la solución para homogenizarla y se dejó reposar por 24 horas, luego se llevó a volumen de 100 ml con agua destilada y se tomó una alícuota de 20 ml.

Se llevó esta solución a un vaso de precipitado de 50 ml para titularlo; allí se agregó de 2 a 3 gotas del indicador de difenilamina sulfúrica. Por último se tituló con sal de Mohr al 0.2 N. El cambio de color verde oscuro a verde brillante indicó el final de la titulación; se anotó el gasto de la solución de Mohr, paralelo a esto se realizó un blanco (sin muestra de suelo). Se calculó el porcentaje de M.O con la siguiente fórmula:

$$\%M.O. = ((a - b) \cdot 0.003 \cdot 1.724) / P \cdot 100$$

Donde:

a = ml de bicromato de potasio utilizado.

b = ml de sal ferrosa o sal de Mohr gastado (gasto de titulación).

0.003 = Factor del carbón.

1.724 = Factor de Van Vammelen.

P = peso de muestra de suelo.

c. Cálculo del porcentaje de carbono en el suelo por horizonte de muestreo

La fórmula utilizada estuvo representada por:

$$\%C.O = \% M.O/1.724$$

Donde:

%C.O = Porcentaje de carbono.

%M.O = Porcentaje de materia orgánica.

1.724 = Factor de Van Vammelen.

d. Cálculo del almacenamiento del carbono orgánico del suelo (COS) por horizonte de muestreo

La fórmula utilizada estuvo representada por:

$$COS = CO\% * da * Ps$$

Donde:

COS = Carbono orgánico de suelos (tC/ha).

C.O% = Porcentaje de carbono en el suelo.

da = Densidad aparente.

Ps = Profundidad de muestreo (cm).

3.3.6. Variables dependientes

- Biomasa y carbono del sistema radicular en las plantas de cacao.
- Carbono del suelo

3.3.7. Variables independientes

- Edad de las plantas

3.3.8. Análisis estadístico

Se utilizó el diseño completo al azar para comparar los niveles de carbono por edad y cuyo modelo aditivo lineal es la siguiente (VASQUEZ, 1990):

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

- Y_{ij} : Variable respuesta u observación
- μ : Efecto de la media poblacional
- T_i : Efecto del i – factor edad de planta

ε_{ij} : Factores no consideradas en la evaluación (Efecto aleatorio).

Posteriormente se utilizó la prueba de comparación de promedios de Duncan a un nivel de significancia del 95 %, para determinar las plantas con mayor cantidad de carbono almacenado en el sistema radicular.

IV. RESULTADOS

4.1. Biomasa radicular en cacao (*Theobroma cacao* L.)

La biomasa del sistema radicular en plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) tiene un incremento directamente proporcional con la edad de la planta; encontrándose 0.46 kg por planta a un año de establecido, a 1.10 kg y 2.56 kg a tres y cinco años respectivamente (Cuadro 4).

Cuadro 4. Biomasa radicular en plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) con diferentes edades.

| Edad (años) | PFT (g) | PST (g) | Biomasa (kg/planta) | Biomasa (t/planta) | Biomasa (t/ha)* |
|----------------|----------|----------|------------------------|-----------------------|--------------------|
| 1 | 764.367 | 462.263 | 0.462 | 0.00046 | 0.51 |
| 3 | 2312.167 | 1104.182 | 1.104 | 0.0011 | 1.23 |
| 5 | 4136.500 | 2560.651 | 2.561 | 0.0026 | 2.85 |

PFT: Peso fresco total

PST: Peso seco total

*Asumiendo que la parcela establecida está en método: tres bolillos a una distancia de 3 m (1111 plantas/hectárea).

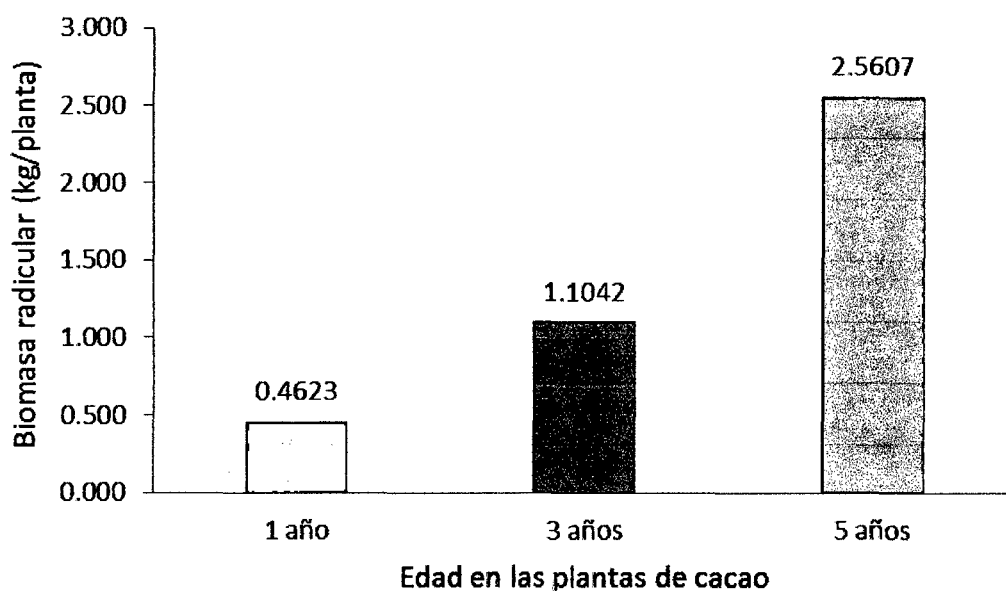


Figura 11. Biomasa radicular en plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) bajo diferentes edades.

Las plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) a diferentes edades presentaron una alta significancia estadística entre el promedio de la cantidad de carbono radicular a diferentes edades (Cuadro 5).

Cuadro 5. Análisis de varianza para la variable biomasa en plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en diferentes edades.

| FV | GL | SC | CM | F- valor |
|--------|----|-------|------|----------|
| Edades | 2 | 13.88 | 6.94 | 53.50 ** |
| Error | 15 | 1.95 | 0.13 | |
| Total | 17 | 15.82 | | |

** Altamente significativo a una probabilidad de $p > 0.01$.

CV: 26.2%.

Las plantas con mayor biomasa fueron los de cinco años de edad (Cuadro 6), presentando un descenso secuencial conforme a la edad de las plantas.

Cuadro 6. Comparación en promedios de Duncan para la biomasa de cacao (*Theobroma cacao* L.) en diferentes edades.

| Orden de mérito | Edad de las plantas | Promedio | Plantas | Significancia |
|-----------------|---------------------|----------|---------|---------------|
| 1 | 5 años | 2.5617 | 24 | a |
| 2 | 3 años | 1.1033 | 24 | b |
| 3 | 1 año | 0.4633 | 24 | c |

4.2. Carbono radicular en plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.)

La cantidad de carbono como parte del sistema radicular acumulado en cada planta de cacao (*Theobroma cacao* L.) tiene un incremento directamente proporcional a la edad de la planta (Cuadro 7), considerando 0.21 kg, 0.50 kg y 1.15 kg de carbono en cada planta con edades de uno, tres y cinco años respectivamente.

Cuadro 7. Carbono almacenado en la parte radicular del cacao (*Theobroma cacao* L.)

| Edad | Carbono (Kg/planta) | Carbono (t/planta) | Carbono (tC/ha)* |
|--------|---------------------|--------------------|------------------|
| 1 año | 0.2080 | 0.0002 | 0.2222 |
| 3 años | 0.4969 | 0.0005 | 0.5555 |
| 5 años | 1.1523 | 0.0012 | 1.3332 |

*Asumiendo que la parcela está en método tres bolillos a una distancia de 3 m (1111 plantas /hectárea).

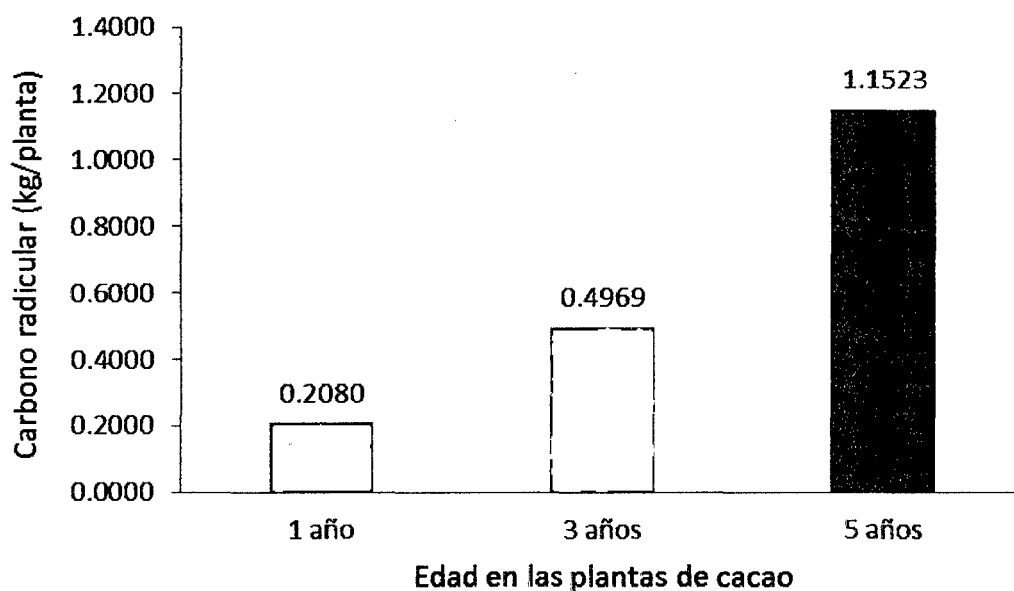


Figura 12. Carbono radicular en plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) bajo diferentes edades.

El carbono almacenado en cada planta de cacao (*Theobroma cacao* L.) a diferentes edades presentó una alta significancia estadística (Cuadro 8); presentando un coeficiente de variación del 26.2%, para CALZADA (1996) presenta una dispersión variable de sus resultados.

Cuadro 8. Análisis de varianza respecto al carbono almacenado por planta de cacao (*Theobroma cacao* L.) a diferentes edades.

| FV | GL | SC | CM | F- valor |
|--------|----|------|------|----------|
| Edades | 2 | 2.82 | 1.41 | 52.96 ** |
| Error | 15 | 0.40 | 0.03 | |
| Total | 17 | 3.22 | | |

** Altamente significativo a una probabilidad de $p > 0.01$, CV: 26.2 %

Las plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) con cinco años de edad presentaron mayor carbono radicular almacenado generando un grupo diferente en la prueba para la comparación de medias de Duncan (Cuadro 9).

Cuadro 9. Prueba Duncan respecto al carbono almacenado en cacao (*Theobroma cacao* L.) en diferentes edades.

| Orden de mérito | Edad de las plantas | Promedio | Plantas | Significancia |
|-----------------|---------------------|----------|---------|---------------|
| 1 | 5 años | 1.15 | 24 | a |
| 2 | 3 años | 0.50 | 24 | b |
| 3 | 1 año | 0.21 | 24 | c |

4.3. Relación del carbono radicular y aérea en las diferentes edades del cacao (*Theobroma cacao* L.)

La relación porcentual entre el carbono almacenado en promedio para plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) a diferentes edades está representado por un 15.22% para la parte del sistema radicular y 84.78% en la parte aérea en plantas establecidas con un año de edad; un 12.34% (parte del sistema radicular) y 87.66% (parte aérea) para plantas de tres años de edad y en las plantas de cinco años de edad el carbono del sistema radicular es de 18.03% respecto a la parte aérea con un 81.97% de carbono almacenado (Figura 13), mostrando valores superiores de carbono en la parte aérea en las tres edades de plantación.

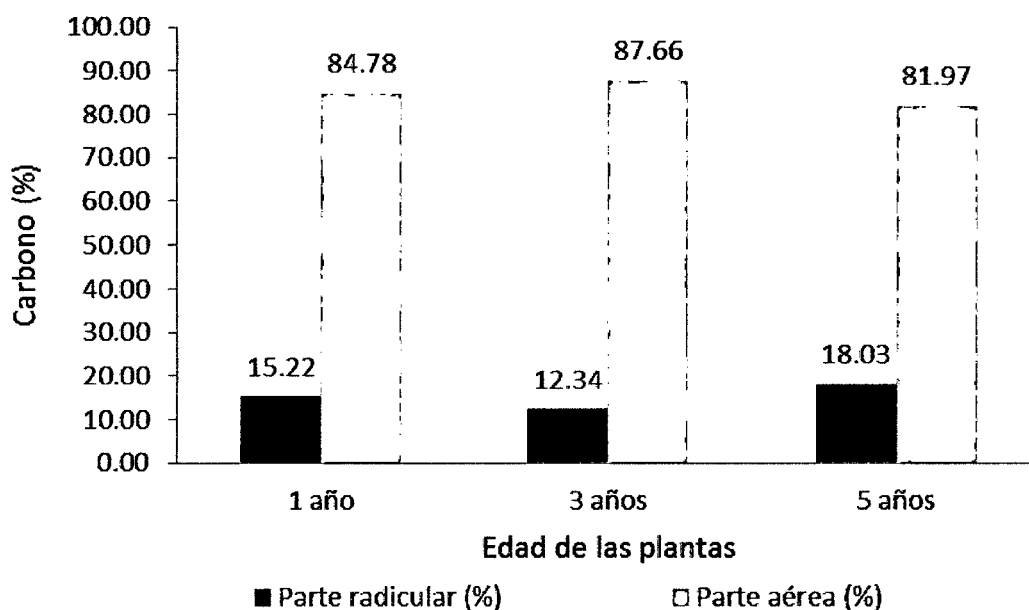


Figura 13. Relación entre el carbono radicular y aéreo en plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) a diferentes edades.

4.4. Carbono acumulado en el suelo

La cantidad de materia orgánica (%) en el suelo del cacaotal con cinco (05) años de edad es superior porcentualmente respecto a las plantaciones con menor edad (Cuadro 10)

De manera similar el porcentaje de carbono en el suelo del cacaotal a diferentes profundidades fue mayor en la parte superior (0 – 5 cm), descendiendo con la profundidad (Cuadro 10).

Cuadro 10. Porcentaje de materia orgánica en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) a diferentes edades.

| Profundidad del suelo | Edad en las plantas de cacao | | |
|-----------------------|------------------------------|------------|------------|
| | 1 año (%) | 3 años (%) | 5 años (%) |
| 0 - 5 cm | 2.85 | 3.56 | 4.20 |
| 5 - 10 cm | 1.15 | 2.06 | 2.87 |
| 10 - 15 cm | 0.70 | 1.32 | 2.17 |

Cuadro 11. Porcentaje de carbono almacenado bajo profundidades de suelos con plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) a diferentes edades.

| Profundidad | 1 año (%) | 3 años (%) | 5 años (%) |
|-------------|-----------|------------|------------|
| 0 - 5 cm | 1.66 | 2.06 | 2.44 |
| 5 - 10 cm | 0.66 | 1.19 | 1.67 |
| 10 - 15 cm | 0.41 | 0.77 | 1.26 |

Cuadro 12. Carbono almacenado por horizonte de muestreo.

| Profundidad | 1 año (tC/ha) | 3 años (tC/ha) | 5 años (tC/ha) |
|-------------|---------------|----------------|----------------|
| 0 - 5 cm | 17.18 | 21.42 | 29.77 |
| 5 - 10 cm | 8.94 | 16.00 | 21.54 |
| 110 - 15 cm | 5.90 | 10.63 | 16.95 |
| Promedio | 10.88 | 16.02 | 22.75 |

V. DISCUSIÓN

5.1. Biomasa radicular en cacao (*Theobroma cacao* L.)

Se encontró para el sistema radicular del cacao (*Theobroma cacao* L.) biomásas de 0.46 kg, 1.10 kg y 2.56 kg/planta y valores de 0.51 t/ha, 1.23 t/ha y 2.85 t/ha para las edades de 1, 3 y 5 años respectivamente, siendo posible que estos pesos mostraran variaciones con respecto a si se tomara árboles de la misma especie de distintas edades, en distintos usos de suelo, lo que afirma PRITCHETT (1986) considerando que las variaciones de la raíz entre los individuos de la misma especie, aun cultivados sobre suelos diferentes pueden ser tan grandes como las que existen entre especies diferentes cultivados en el mismo suelo.

En la reserva de Pacaya Samiria, FREITAS *et al.* (2006) encontró el peso total de la biomasa radicular de la palmera aguaje (*Mauritia flexuosa* L.f.), obteniendo en promedio de 30 árboles muestreados un total de 310.40 Kg, la cual es diferente a lo encontrado por el estudio; esto se trata por ser de diferentes especies y calidades de suelos. Las palmeras de aguaje se encuentran en forma natural en terrenos inundables o temporalmente inundables, las cuales concentran una gran cantidad de biomasa para sostenerse y sobrevivir.

La biomasa radicular en los diferentes sistemas de usos de la tierra son muy variables y dependen principalmente de la especie utilizada y por ello la parte radicular de cada especie es una de las principales fuentes de carbono para el suelo, como lo menciona RIOS (2007) al determinar el carbono fijado en suelos con cultivo de coca (13.84 t/ha/año), sistema agroforestal de café (3.96 t/ha/año), sistema agroforestal de *Pupunha* spp. (1.91 t/ha/año), *Echinochloa polystachya* (4.58 t/ha/año), sistema agroforestal con cítrico (0.83 t/ha/año), sistema agroforestal de cacao mejorado (0.43 t/ha/año) y sistema agroforestal de cacao tradicional (3.27 t/ha/año); este carbono está influenciado por las raíces y las partes aéreas no utilizadas (DONAHUE, s.d.).

Otros factores importantes pueden determinar la biomasa bajo el suelo en relación al crecimiento de las raíces, WINTER (1981) afirma que el aspecto y conformación del sistema radicular dependen mucho de las condiciones exteriores; KRAMER (1987) corrobora esta afirmación indicando que existen factores ambientales (externos) que afectan o favorecen al crecimiento de la raíz tales como la humedad y la temperatura del suelo; los minerales, el pH, la textura, la luz y la competencia e interacción con otras raíces en su radio de acción; un claro ejemplo lo da el mismo autor con el cultivo de cebada (*Hordeum vulgare* L.) y trigo (*Triticum vulgare* L.) cuyos sistemas radiculares eran casi 100 veces mayores cuando crecían sin competencia que cuando crecían en hileras separadas. KRAMER (1987), también menciona que existen factores internos que intervienen en el crecimiento de las raíces tales como las características hereditarias de cada especie.

5.2. Carbono radicular en plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.)

El carbono acumulado en las plantas de cacao estudiadas se va incrementando con respecto a la edad de plantación con valores de 0.21 kg, 0.50 kg y 1.15 kg/planta y valores de 0.22 tC/ha, 0.55 tC/ha y 1.33 tC/ha de 1 año, 3 años y 5 años respectivamente, por lo tanto cuanto más vigorosos y desarrollados están las plantas producirán mayor cantidad de biomasa; de esta manera a mayor acumulación de biomasa mayor acumulación de carbono; y estas acumulaciones son variables entre plantas de esta especie; tal es el caso de las investigaciones realizadas por FREITAS *et al.* (2006) en la Reserva de Pacaya Samiria, en plantas de aguaje (*Mauritia flexuosa* L.f.), cuya fracción de carbono en la raíz fue de 0.49 tC/ha. Las concentraciones de carbono almacenado en el sistema radicular presentan variaciones debido a cada sistema de uso de la tierra

Por otro lado, GUZMAN y AREVALO (2003) al evaluar reservas de carbono en diferentes sistemas de la tierra en Yurimaguas, encontraron en un bosque de más de 40 años con ligera extracción de madera 23.95 tC/ha, bosque secundario con 15 años 3.32 tC/ha, bosque secundario con 5 años 1.66 tC/ha, bosque secundario con 3 años 3.66 tC/ha, un área reciente quemada 48.70 tC/ha, área con cultivo anual de arroz 29.30 tC/ha, pastura degradada con 30 años y quemada anualmente 1.50 tC/ha, pastura mejorada con *Brachiaria decumbens* de 15 años 0.96 tC/ha, plantación de pijuayo de 16 años 7.49 tC/ha y plantación multiestrato *Bactris gasipaes*, *Cedrelinga cateniformis* y *Columbia* sp. 2.63 tC/ha.

Investigaciones similares en la comunidad Sarita Colonia, que realizaron GUZMAN y AREVALO (2003) determinando el carbono del sistema radicular en diferentes sistemas de uso de la tierra, encontrando en un bosque primario no tocado 2.61 tC/ha, bosque primario con extracción de madera 3.48 tC/ha, bosque secundario con 15 años de edad 1.04 tC/ha, bosque secundario con 3 años de edad 0.28 tC/ha, área con cultivo anual de arroz 0.81 tC/ha, área con cultivo anual de yuca 0.50 tC/ha con cultivo bianual de plátano 0.84 tC/ha, pastura degradada 0.68 tC/ha, plantación de *Hevea brasiliensis* con 30 años 0.35 tC/ha y plantación de palma aceitera 0.71 tC/ha, estos reportes varían en parte por el tipo de cultivo y por emplear distintos protocolos de muestreo (VIENA, 2010).

5.3. Relación del carbono radicular y aéreo en las diferentes edades cacao (*Theobroma cacao* L.)

La relación porcentual de carbono almacenado encontrado para plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) fueron: para las plantas de un año, mayor para la parte aérea con 84.78% en lo que respecta a la parte radicular con 15.22%, resultando similar para el de 3 años mayor en la parte aérea 87.66% que la parte radicular con 12.34% y para el caso de 5 años con 81.97% en la parte aérea, con respecto a la parte radicular con 18.03%, esto concuerda a lo encontrado en la reserva de Pacaya Samiria, donde FREITAS *et al.* (2006) encontraron la relación de carbono almacenado en la palmera aguaje (*Mauritia flexuosa* L.f.), mostrando que en la parte aérea (68.54%) se encuentra mayor carbono almacenado respecto a la parte radicular (31.46%).

Mc Diken (1997) citado por FREITAS *et al.* (2006) indica que estimar la biomasa de las raíces representa entre un 10% y un 40% de la biomasa total del árbol. En ambas especies, incluyendo los casos estudiados en la presente investigación los porcentajes de raíces van desde 12.34% hasta 31.46%, con lo que podríamos afirmar que se encuentran dentro del rango.

Por otra parte, un factor importante para las diferencias porcentuales entre raíz y parte aérea son las podas que sufren las plantas de cacao a lo largo de su vida y que se inician a los 16 meses de instalado en el campo con la llamada poda de formación. Las plantas de un año de edad no han sufrido ningún tipo de poda, lo que difiere de las plantas de cacao de 3 años de edad las cuales no solo pasan por la poda de formación sino también por la poda de mantenimiento que es dada a los 30 meses de establecido en campo y que se repite anualmente para el sostenimiento del cultivo, y por último las plantas de cacao de 5 años de edad no solo pasan por la poda de formación y la de mantenimiento sino también por la poda fitosanitaria; y como la parte aérea y radicular dependen mutuamente es natural que si a una parte se le modifica, le pase lo mismo a la otra (PÉREZ, 2010).

5.4. Carbono acumulado en el suelo

Los resultados obtenidos en la presente investigación, los promedios de 10.88 tC/ha para los de 1 año; 16.02 tC/ha para los de 3 años y 22.75 tC/ha para los de 5 años; estos pueden estar influenciados por el terreno estudiado, este tiene alrededor de 60 años siendo labrado por distintos cultivos

tales como maíz, coca, plátano y el mismo cacao en su variedad criolla aunque no haya sido tecnificado, incluso cabe resaltar la inundación que sufrió la parcela en el año 2007, cuyos efectos pueden estar repercutiendo en los resultados obtenidos.

MEDINA (1998) en estudios realizados con contenidos de carbono en el suelo de cultivo de café (*Coffea arabica* L.) de diferentes edades (3 – 4 años, 8 – 9 años y 9 – 10 años) a diferentes profundidades se encontró promedios de 75.72 tC/ha, 76.93 tC/ha y 96.75 tC/ha respectivamente para los diferentes rangos de edades de la plantación. El justifica que el alto contenido de carbono encontrado se debe a que puede estar influenciado por un acumulado en el cambio de uso del suelo de bosque a plantaciones de cafeto en los últimos diez años; los suelos de los bosques son grandes sumideros de carbono y que puede entregar cifras hasta de 123 tC/ha.

Además, ÁVILA *et al.* (2001) indican que los efectos de almacenamiento de carbono en el suelo se deben a diversos factores tales como, la edad de las especies, la textura del suelo, cambio de uso de suelo, manejo de los cultivos, entre otros.

Se encontró que el carbono del suelo presenta una disminución de acuerdo al incremento de la profundidad del suelo, ZAVALETA (1992) indica que el contenido de carbono disminuye respecto a la profundidad, ya que los horizontes superficiales de los suelos sometidos a laboreo, suelen contener entre el 1 y el 3% de materia orgánica, pero este contenido es con frecuencia

más elevado en los suelos de pradera y el de forestales. El contenido de materia orgánica en los suelos es muy variable y está condicionado en primera instancia por el clima y la vegetación o cultivo de cacao para el caso en estudio.

Para los resultados obtenidos en el presente trabajo para el caso de almacenamiento de carbono a diferentes profundidades (0 – 5 cm, de 5 – 10 cm y de 10 a 15 cm) cuyos valores en plantaciones de un año son 17.18 tC/ha, 8.94 tC/ha y 5.90 tC/ha; siendo los valores para las plantaciones de 3 años 21.42 tC/ha, 16.00 tC/ha y 10.63 tC/ha; finalizando con los valores para plantaciones de 5 años de 29.77 tC/ha, 21.54 tC/ha y 16.95 tC/ha, lo que muestra la disminución del contenido de carbono conforme se profundiza en el perfil del suelo, partiendo de menor valor en plantaciones de un año, luego de 3 años y por último de 5 años; se asemeja con ÁVILA *et al.* (2001) que en estudios realizados en un sistema agroforestal de café – eucalipto con edades de 4 y 6 años de edad encontró 139 tC/ha y 161 tC/ha de 6 años respectivamente. Este mismo autor señala además, que la edad de las especies repercute en un mayor desarrollo de las raíces y mejora la estructura del suelo, como también el aporte de biomasa aérea al suelo, constituyendo un aumento en el contenido de carbono del suelo.

A través del secuestro de carbono, los niveles del dióxido de carbono atmosférico pueden reducirse de la misma medida en que los niveles de carbono orgánico del suelo aumentan. Si el carbono orgánico del suelo no está alterado, puede permanecer en el suelo por muchos años como materia

orgánica estable. Este carbono es entonces secuestrado o removido del pool disponible para ser reciclado en la atmósfera. De esta forma se pueden reducir los niveles de CO₂, disminuyendo las probabilidades de calentamiento global (MAC CRACKEN, 1985).

MORA (2001) encontró que el almacenamiento del carbono aumentaba a medida que se profundizaba en el perfil del suelo, resultado diferente a lo encontrado por RAMOS (2003) y el presente estudio, en los cuales el nivel de carbono en el suelo disminuye a medida que se profundiza en él.

Recientes modelos sobre el uso de la tierra sugieren que los sistemas terrestres pueden mitigar aproximadamente 20% del CO₂ atmosférico, debido al secuestro de carbono dentro de la vegetación y el suelo. Porque así el C se puede contener dentro del suelo por un tiempo de residencia mayor a mil años. El almacenamiento de este carbono depende de las variables climáticas (temperatura y precipitación) y del contenido de arcilla en el suelo. Gran parte de la región central de Venezuela, que estuvo ocupada por sabanas naturales está siendo cultivada. La vegetación de sabana almacena la mayor cantidad de C en las raíces, el cual es posteriormente convertido en carbono orgánico en el suelo. Hasta ahora, los sistemas de cultivo utilizados en la agricultura tienden a disminuir el C del suelo; sin embargo, el mejoramiento de cultivos y las prácticas de manejo tienen el potencial de incrementar el C (BALESDENT, 1998).

VI. CONCLUSIONES

1. Las plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) de un año de establecido alcanzó menor biomasa radicular, seguido en las plantas de tres años y en plantas de cinco años, mostrando un incremento respecto al tiempo desde su establecimiento en campo y siendo altamente significativo.
2. La mayor cantidad de carbono radicular se encuentra en plantaciones de cacao de cinco años de edad, seguidos de tres y un año respectivamente.
3. La relación porcentual de carbono acumulado en la parte radicular y aérea fue 15.22% (raíz) y 84.78% (aérea) a un año de edad; 12.34% (raíz) y 87.66% (aérea) a tres años de edad y 18.03% (raíz) y 81.97% (aérea) para plantas con cinco años de edad.
4. La cantidad de carbono (%) en el suelo del cacaotal con cinco años de edad es superior respecto a las demás edades; también la capa superior de suelo (0 – 5 cm) presenta mayor carbono respecto a los suelos más profundos.

VII. RECOMENDACIONES

- Determinar la biomasa y carbono almacenado en base a la clasificación de raíces en la especie cacao (*Theobroma cacao* L.)
- En la determinación de la biomasa acumulada en raíces, se debe considerar factores que interactúan con la raíz, como la humedad del suelo, temperatura, aereación, pH entre otros, las cuales nos facilita ver el comportamiento de la raíz en las plantas.
- Realizar evaluaciones de los sistemas radiculares en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) con diferentes distanciamientos de plantación, debido a que la competencia entre plantas limitan el crecimiento de la raíz.
- Determinar la biomasa acumulada en la raíz y vástago en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) ubicados en diferentes zonas y suelos, con la finalidad de comparar el comportamiento respectivo.

VIII. ABSTRACT

In order to evaluate and estimate the total of carbon in the biomass of the root system in the cultivation of cacao (*Theobroma cacao* L.) at different ages (1, 3 and 5 years), the research was conducted in the field of Puente Perez in Tingo María - Huánuco, on the right bank of the Huallaga River, 10 minutes from Tingo María city, district of Rupa Rupa, province of Leoncio Prado, region of Huánuco. The design used was completely randomized (Vázquez, 1990) has measured the circumference of the stem of each plant of cacao to a height of 30 cm above the soil surface (LARREA, 2007) to determine the biomass plant area, and thereby obtain a percentage ratio of root / stem, then was the extent of their roots (GAYOSO *et al.*, 2000) to determine the carbon stored, also conducted a soil sampling (RÜGNITZ *et al.*, 2009) that was modified depths of 0 to 5 cm, 5 to 10 cm and 10 to 15 cm to determine the percentage of carbon.

The root biomass accumulated in cacao plant established one year is 0.51 t/ha, followed of three years 23.1 t/ha and five with 2.85 t/ha of weight in which higher biomass was found regarding the other ages, presented statistically highly significant, similarly as many root carbon was found in cacao plants of five age (1.33 tC/ha), followed by three (0.55 tC/ha) and one year (0.22 tC / ha), the ratio of carbon in the root and area was 15.22% (root) and

84.78% (air) at one year old: 12.34% (root) and 87.66% (air) to five years of age and 18.03% (root) and 81.97% (air) to plants with five years of age, and the amount of carbon (%) on the floor of the cacao plantation with five (5) years of age is higher than at other ages, also the upper layer of soil (0 -5 cm) has a higher carbon according to the depth in the soil profile.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AREVALO, L., ALEGRE, J., PALMA, C. 2003. Determinación de reservas totales de carbono en diferentes sistemas de uso de la tierra en Perú. Lima, Perú.
- ALEGRE, J., RICSE, A., ARÉVALO, L., BARBARÁN, J., PALM, C. 2000. Reservas de carbono en diferentes sistemas de uso de la tierra en la amazonía peruana. Consorcio para el Desarrollo Sostenible de Ucayali (CODESU) Boletín informativo. 12: 8-9.
- ALVARADO, F.J. 2011. Purificación y caracterización bioquímica de la carboxipeptidasa (tcCP) de la semilla de cacao (*Theobroma cacao* L.). Tesis Ms Sc. En Ciencias. Tabasco, México. Colegio de posgraduados. 70 p.
- ALVERSON, W.S., BAYER, C., FAY, M.F., DE BRUIJN, P.Y., SAVOLAINEN, V., MORTON, C.M., KUBITZKI, K., CHASE, M.W. 1999. Support for an expanded family concept of Malvaceae within a recircumscribed order Malvales: a combined analysis of plastid *atpB* and *rbcl* DNA sequences. *Botanical Journal of The Linnean Society* 129(4): 267-303.

- ÁVILA G. 2000. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas de café bajo sombra, café a pleno sol, sistemas silvopastoriles y pasturas a pleno sol. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 99 p.
- ÁVILA, G., JIMÉNEZ, F., BEER, J., GÓMEZ, M., IBRAHIM, M. 2001. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales. Turrialba, Costa Rica, Agroforestería de las Américas.
- BALESDENT, J., BESNARD, E., ARROUAYS, D., CHENU, C. 1998. The dynamics of carbon in particle-size fractions of soil in a forest-cultivation sequence. *Plant Soil* 201:49-57.
- CALZADA, J. 1996. Métodos estadísticos para la investigación. 5ta Edición. Lima Perú. 640 p.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2007. Protección, restauración y conservación de suelos forestales. Manual de obras y prácticas. 3 ed. Zapopan, Jalisco, México. 298 p.
- CRONQUIS, A. 1999. Introducción a la botánica. Edit. Compañía Editorial Continental, S.A. D.F. México. 800 p.
- DELGADILLO, M., QUECHULPA, S. 2006. Manual de monitoreo de carbono en sistemas agroforestales. Chipas, México. 43 p.
- DIXON, K. 1995. Sistemas agroforestales y gases de invernadero. Turrialba, Costa Rica, Agroforestería en las Américas.

- DONAHUE, R. s.d. Introducción a los suelos y el crecimiento de las plantas.
- ESWARAN H., E., VAN DEN BERG, REICH, P., 1993. Organic carbon in soils of the world. Soil Sci. Soc. Am. 194 p.
- FAO, 2001. Soil carbon sequestration for improved land management. World soil reports 96. Rome, 58 p.
- FAO. 2006. Manejo de la tierras forestales, de pastoreo y cultivadas para aumentar la captura de Carbono en los suelos. [En línea]: FAO, (www.fao.org/DOCREP/005/Y2779S/y2779s07.htm-43k, documentos, 20 May. 2011).
- FLORIDA, R., LOPEZ, C.S. 2011. Manual del laboratorio de conservación de suelos y agua. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 41 p.
- FONSECA, W., ALICE, F., REY, J. 2009. Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. Universidad Nacional Autónoma de Costa Rica. 24 pág.
- FREITAS, L., OTÁROLA, E., CASTILLO, D., LINARES, C., MARTÍNEZ, P., MALCA, G. 2006. Servicios ambientales de almacenamiento y secuestro de carbono del ecosistema aguajal en la Reserva Nacional Pacaya Samiria. 2 ed. Iquitos, Perú, Dominus publicidad E.I.R.L. 65 p.

- GAYOSO, J., BASTIENNE, S., GUERRA, J. 2000. Manual de procedimientos. Muestreos de biomasa forestal. Universidad Austral de Chile. Chile. 26 p.
- GUZMAN, W., AREVALO, L. 2003. Servicios ambientales de almacenamiento de carbono activo para el desarrollo en la amazonía peruana: Avances y retos. In. Seminario permanente de investigación agraria. Pucallpa, Perú. 16 p.
- HOLDRIDGE, R. 1987. Ecología basada en zonas de vida. 3 ed. San José, Costa Rica, Servicio editorial IICA. 216 p.
- IPCC. 2000. Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura: Informe especial del Grupo de trabajo III. 3 ed. Camargo.
- JACKSON, M. 1964. Análisis químico de suelos. Ediciones Omega, S. A. Barcelona, España. 662 p.
- JIMÉNEZ F. MUSCHLER R. 2001. Introducción a la agroforestería. Funciones y aplicaciones de sistemas agroforestales. Módulos de Enseñanza Agroforestal CATIE. Costa Rica. 24 p.
- KANNINEN, M. 1997. Los bosques y el cambio global. 2ed. Heredia, Costa Rica, Impresos Belén. 2 - 5 p.
- KRAMER, P. 1987. Relaciones hídricas de suelos y plantas; Una síntesis moderna. México, Offset Rebosan, S.A. 538 p.

- LARREA, G.C. 2007. Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de combinaciones agroforestales de *Theobroma cacao* L. & determinación de la ecuación alométrica para el cacao. Tesis Ing. Ambiental. Lima, Perú. Universidad nacional Agraria La Molina. 80 p.
- LÓPEZ, T. 2007. Sistemas agroforestales. SAGARPA. Subsecretaría de Desarrollo Rural. Colegio de Post-graduados. Puebla- México. 8 p.
- MAC CRACKEN, M.C. 1985. Carbon dioxide and climate change: Background and overview. pp.1-23. In M.C. MacCracken and F.M. Luther (eds). Projecting the climatic effect of increasing carbon dioxide. U.S. Department of Energy, Er-0237, Washington, D.C.
- MARTINEZ, E.; FUENTES, P.; ACEVEDO, E. 2008. Carbono Orgánico y Propiedades del Suelo. Scielo 8(1): 68-96. [En línea]: (<http://www.scielo.cl/pdf/rcsuelo/v8n1/art06.pdf>, 20 Nov. 2012).
- MEDINA, C. 1998. Cuantificación del carbono almacenado en el suelo de café (*Coffe arabica* L.) con sombra en la hacienda Santa Maura. Universidad Centroamericana, Facultad de Ciencia, Tecnología y Ambiente. Jinotega, Nicaragua.
- MONTAGNINI, F., JORDAN, C. y MATTA, R. 1992. Sistemas agroforestales: Principios y aplicaciones en los trópicos. Organización para Estudios Tropicales. San José, Costa Rica. 622 p.

- MÉNDEZ, J. 2002. Ecuaciones de biomasa para fuste de *Pinus cooperi* y *P. leiophylla* de la región del Salto, Durango. México. Durango, México, Campeche.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, Programa para el Desarrollo de la Amazonía. 2004. Manual del cultivo del cacao. 1ed. Edit Proamazonía. Perú. 83 p.
- MORA, V. 2001. Fijación, emisión y balance de gases de efecto invernadero en pasturas en monocultivo y en sistemas silvopastoriles de fincas lecheras intensivas de las zonas altas de Costa Rica (tesis de maestría). CATIE, Turrialba, Costa Rica. 92 p.
- PÉREZ, M.J. 2010. Podas en cacao. FUNDACIÓN MCCH. Gobierno Vasco. Quito, Ecuador. 10 p.
- PRITCHETT, W.L. 1986. Suelos forestales; Propiedades, conservación y mejoramiento. México, Limusa S.A. de C.V. 635 p.
- QUINTEROS, H. 2009. Secuestro de carbono. [En Línea]: Fonamperu, (<http://www.fonamperu.org/general/bosques/secuestro.php>, documentos, 27 Abr. 2011).
- RAMOS, R. 2003. Fraccionamiento del carbono orgánico del suelo en tres tipos de uso de la tierra en fincas ganaderas de San Miguel de Barranca, Punta Arenas, Costa Rica (tesis de maestría). CATIE, Turrialba, Costa Rica. 81 p.

- RIOS, A.J. 2007. Almacenamiento de carbono e valoración económica en sistemas de uso-da-terra comparados con o de cultivo da coca (*Erythroxylon coca* Lam) no distrito de Jose Crespo e Castillo. Tingo María, Perú. 125 p.
- RÜGNITZ, M. T, CHACÓN, M. L., PORRO, R. 2009. Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. Lima, Perú. Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) / Consorcio Iniciativa Amazônica (IA). 79 p.
- SCHROEDER, P. 1994. Carbon Storage Benefits of Agroforestry Systems. [En línea]: FAO, (<http://www.fao.org/docrep/005/Y2779S/y2779s05.htm>; 05 Ene. 2011).
- SULLCA, J. 1992. Tecnificación del Cacao en la Selva Peruana. 1ed. Editorial Talleres de Grafia S.A. Lima, Perú. 72 p.
- SWIFT, R. 2001. Secuestro de carbono en el suelo. Ciencia del suelo. 166 p.
- VASQUEZ, V. 1990. Experimentación agrícola: Diseños estadísticos para la investigación científica tecnológica. Amaru Editores S.A. Cajamarca, Perú. 278 p.
- VIENA, H. 2010. Estimación de biomasa y almacenamiento de carbono bajo cuatro sistemas de uso de la tierra en la provincia de Leoncio Prado. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 62 p.

- WILD, A. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Rusell. Madrid, España, Mundi Prensa. 1045 p.
- WINTER, E. 1981. El agua, el suelo y la planta. 3 ed. México, Diana S.A. 222 p.
- WOOD, G. 1982. CACAO. 3 Edición. Edit Compañía Editorial Continental, S.A de C.V. D. F. México, México. 347 p.
- ZAVALETA, A. 1992. Edafología: El suelo en relación con la producción. Lima, Perú, Biblioteca Nacional del Perú. 223 p.

X. ANEXO

Anexo 1. Datos obtenidos de campo.

Cuadro 13. Datos obtenidos en cada planta sacrificada de cacao (*Theobroma cacao* L.).

| Planta | Edad (años) | PFT (g) | PST (g) | Biomasa (kg)/planta | Carbono (t)/planta |
|--------|-------------|---------|----------|---------------------|--------------------|
| 1 | 1 | 1205 | 736.000 | 0.736000 | 0.000331 |
| 2 | | 293 | 229.050 | 0.229050 | 0.000103 |
| 3 | | 752 | 410.285 | 0.410285 | 0.000185 |
| 4 | | 732 | 439.740 | 0.439740 | 0.000198 |
| 5 | | 849 | 525.975 | 0.525975 | 0.000237 |
| 6 | | 755.2 | 432.526 | 0.432526 | 0.000195 |
| 1 | 3 | 2753 | 1520.881 | 1.520881 | 0.000684 |
| 2 | | 2507 | 1372.438 | 1.372438 | 0.000618 |
| 3 | | 1969 | 564.688 | 0.564688 | 0.000254 |
| 4 | | 2200 | 960.290 | 0.960290 | 0.000432 |
| 5 | | 2226 | 1125.713 | 1.125713 | 0.000507 |
| 6 | | 2218 | 1081.081 | 1.081081 | 0.000486 |
| 1 | 5 | 4920 | 2840.540 | 2.840540 | 0.001278 |
| 2 | | 4405 | 1645.345 | 1.645345 | 0.000740 |
| 3 | | 3641 | 2707.535 | 2.707535 | 0.001218 |
| 4 | | 4220 | 2999.405 | 2.999405 | 0.001350 |
| 5 | | 3706 | 2337.151 | 2.337151 | 0.001052 |
| 6 | | 3927 | 2833.931 | 2.833931 | 0.001275 |

Cuadro 14. Antecedentes sobre biomasa en aguaje (*Mauritia flexuosa* L.f.).

| Plantas | Biomasa (t) | | | Biomasa (kg) | | | Biomasa (kg) | |
|---------|-------------|-------|------|--------------|--------|--------|--------------|-----------|
| | Estípite | Hojas | Raíz | Estípite | Hojas | Raíz | Aérea | Radicular |
| 1 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 8.10 | 18.60 | 9.10 | 26.70 | 9.10 |
| 2 | 0.09 | 0.01 | 0.02 | 91.00 | 5.70 | 15.30 | 96.70 | 15.30 |
| 3 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 38.20 | 38.80 | 26.60 | 77.00 | 26.60 |
| 4 | 0.08 | 0.02 | 0.04 | 81.50 | 22.80 | 39.40 | 104.30 | 39.40 |
| 5 | 0.16 | 0.07 | 0.05 | 164.80 | 67.20 | 47.40 | 232.00 | 47.40 |
| 6 | 0.15 | 0.08 | 0.06 | 147.90 | 75.50 | 62.10 | 223.40 | 62.10 |
| 7 | 0.26 | 0.08 | 0.08 | 257.60 | 84.80 | 80.40 | 342.40 | 80.40 |
| 8 | 0.31 | 0.14 | 0.09 | 307.50 | 136.50 | 88.40 | 444.00 | 88.40 |
| 9 | 0.33 | 0.29 | 0.15 | 325.90 | 291.70 | 152.70 | 617.60 | 152.70 |
| 10 | 0.43 | 0.17 | 0.15 | 427.20 | 168.60 | 149.10 | 595.80 | 149.10 |
| 11 | 0.52 | 0.27 | 0.22 | 524.80 | 273.10 | 216.50 | 797.90 | 216.50 |
| 12 | 0.56 | 0.13 | 0.28 | 559.70 | 132.90 | 283.30 | 692.60 | 283.30 |
| 13 | 0.45 | 0.18 | 0.55 | 451.80 | 184.60 | 554.00 | 636.40 | 554.00 |
| 14 | 0.67 | 0.23 | 0.50 | 667.60 | 225.00 | 497.70 | 892.60 | 497.70 |
| 15 | 0.76 | 0.13 | 0.40 | 759.70 | 130.30 | 396.60 | 890.00 | 396.60 |
| 16 | 0.72 | 0.44 | 0.26 | 723.70 | 439.10 | 260.90 | 1162.80 | 260.90 |
| 17 | 0.74 | 0.18 | 0.42 | 736.60 | 182.00 | 422.20 | 918.60 | 422.20 |
| 18 | 0.97 | 0.22 | 0.48 | 965.20 | 222.40 | 480.50 | 1187.60 | 480.50 |

Continuación Cuadro 12...

| | | | | | | | | |
|-------------|------|------|------|---------|--------|--------|---------|--------|
| 19 | 0.91 | 0.11 | 0.59 | 905.00 | 113.80 | 591.70 | 1018.80 | 591.70 |
| 20 | 0.98 | 0.15 | 0.59 | 976.60 | 154.60 | 588.40 | 1131.20 | 588.40 |
| 21 | 1.10 | 0.13 | 0.56 | 1096.60 | 134.50 | 558.40 | 1231.10 | 558.40 |
| 22 | 0.77 | 0.18 | 0.78 | 771.10 | 178.90 | 779.80 | 950.00 | 779.80 |
| 23 | 1.24 | 0.05 | 0.84 | 1241.20 | 46.50 | 838.80 | 1287.70 | 838.80 |
| Promedio | | | | | | | 676.40 | 310.40 |
| Porcentajes | | | | | | | 68.54 | 31.46 |

Fuente: Freitas *et al.* (2006).

Anexo 2. Panel fotográfico.



Figura 14. Coordinación de las plantas a extraer con el propietario.



Figura 15. Medición del diámetro de tallo a 30 cm.



Figura 16. Limpieza de la hojarasca y herbácea para la extracción de la raíz.



Figura 17. Extracción del sistema radicular de cacao (*Theobroma cacao* L.) de un año de edad.



Figura 18. Corte de raíz para la determinación del peso fresco.



Figura 19. Determinación del peso fresco total radicular por planta extraída.

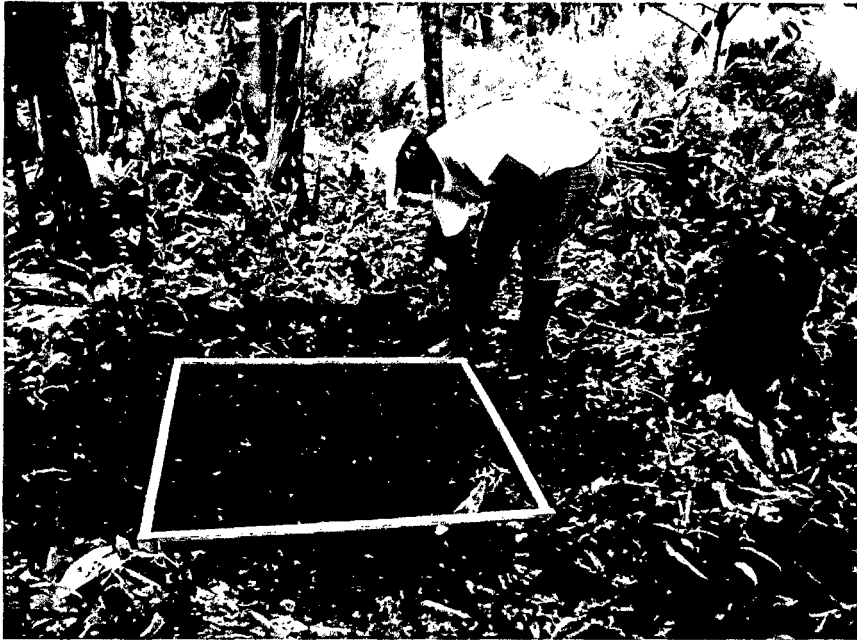


Figura 20. Cuadrante para muestreo de suelos ubicado al azar
alrededor de las plantas a extraer.



Figura 21. Muestreo de suelo con cilindro para determinar
carbono orgánico y densidad aparente.



Figura 22. Mezcla de suelos por profundidad para su respectivo análisis.

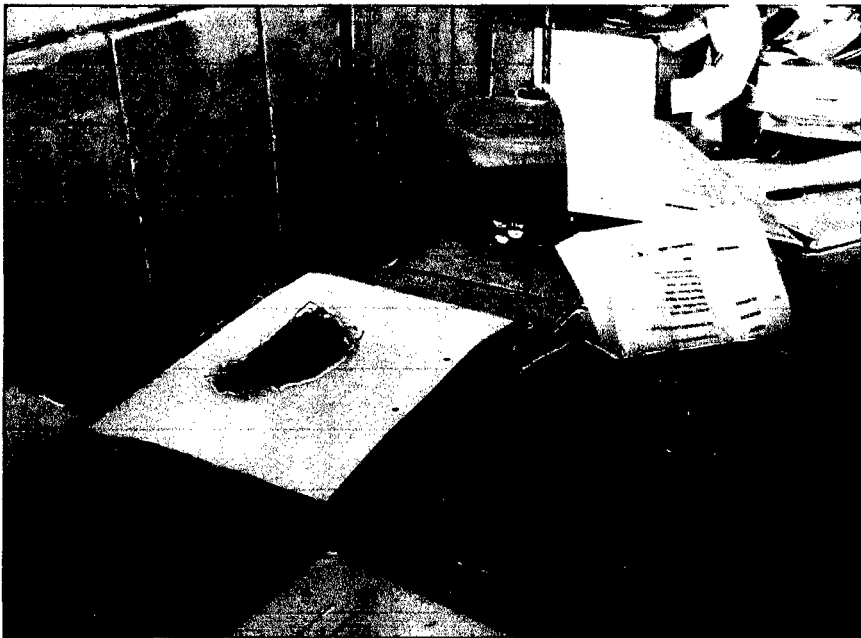


Figura 23. Peso seco de la muestra del sistema radicular en balanza analítica.

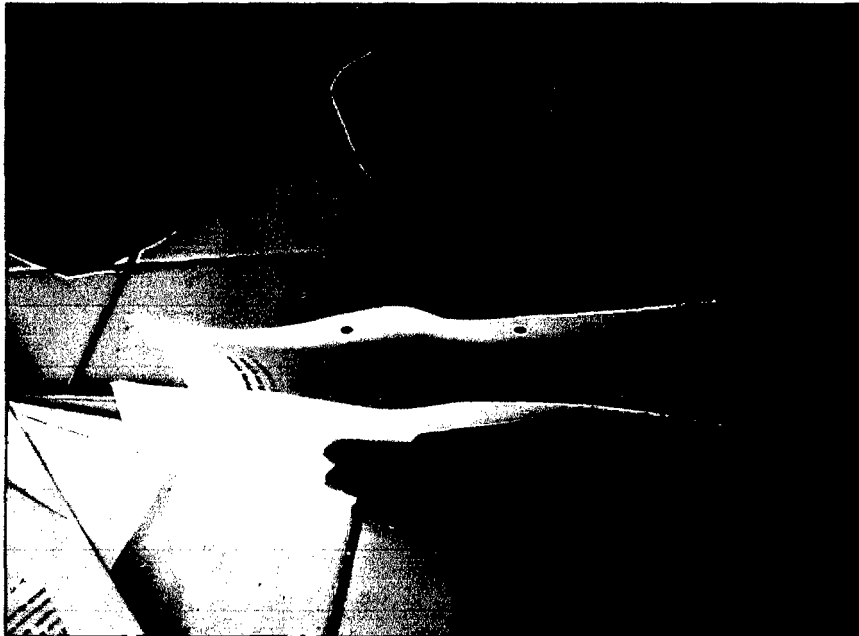


Figura 24. Acondicionamiento del cilindro con suelo para colocar en estufa.

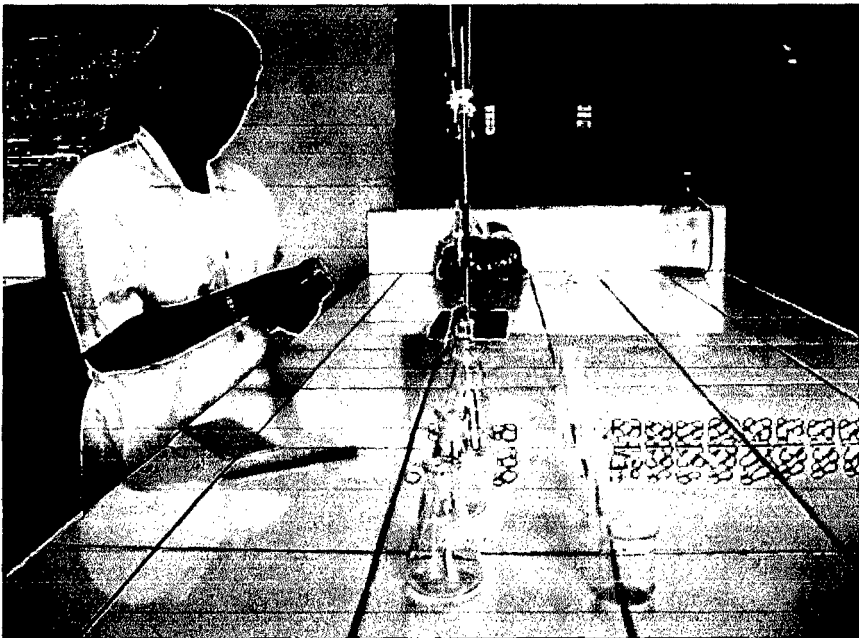


Figura 25. Codificado de envases para realizar el análisis de carbono orgánico.

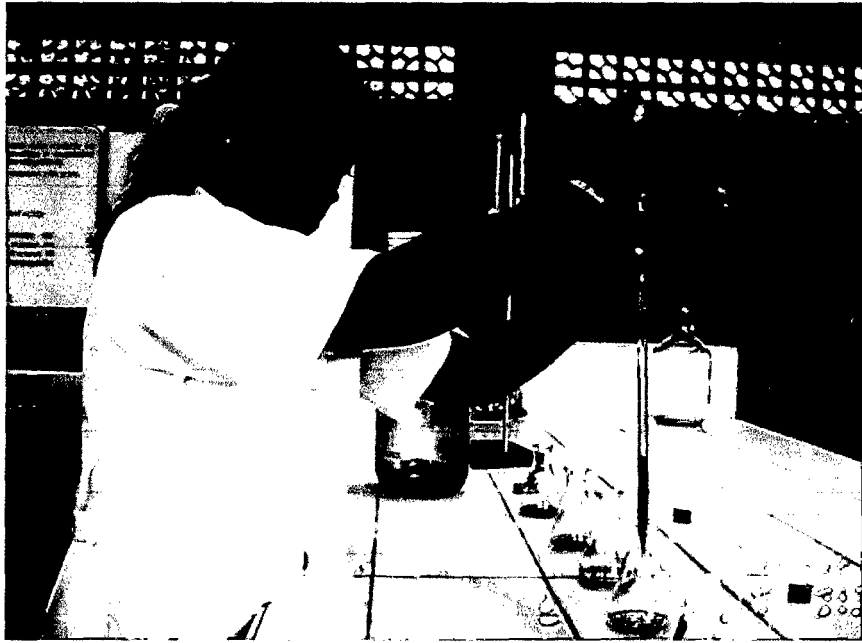


Figura 26. Preparación de solución en matraz Erlenmeyer para determinar carbono orgánico

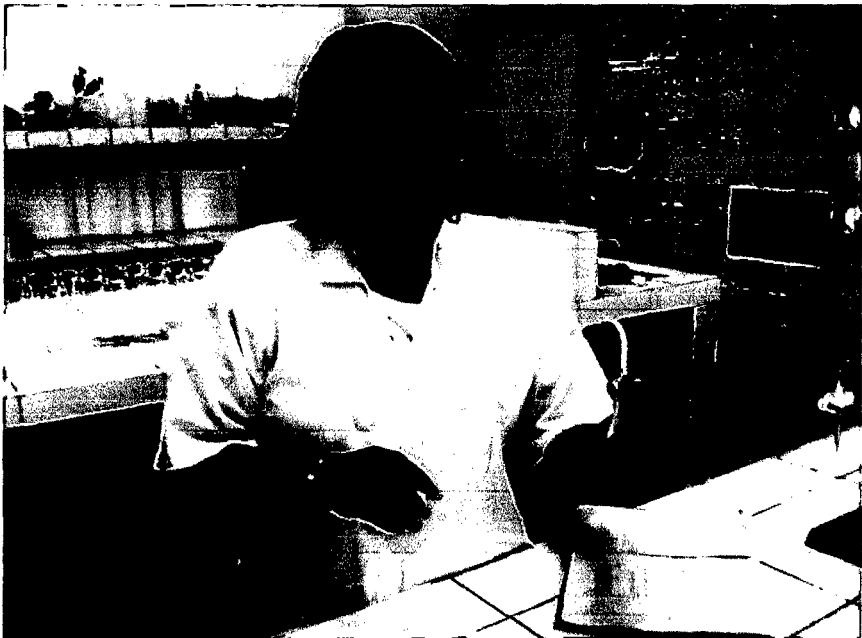


Figura 27. Aplicación de agua destilada en la solución para determinar carbono orgánico.

Anexo 3. Mapa o croquis de ubicación.

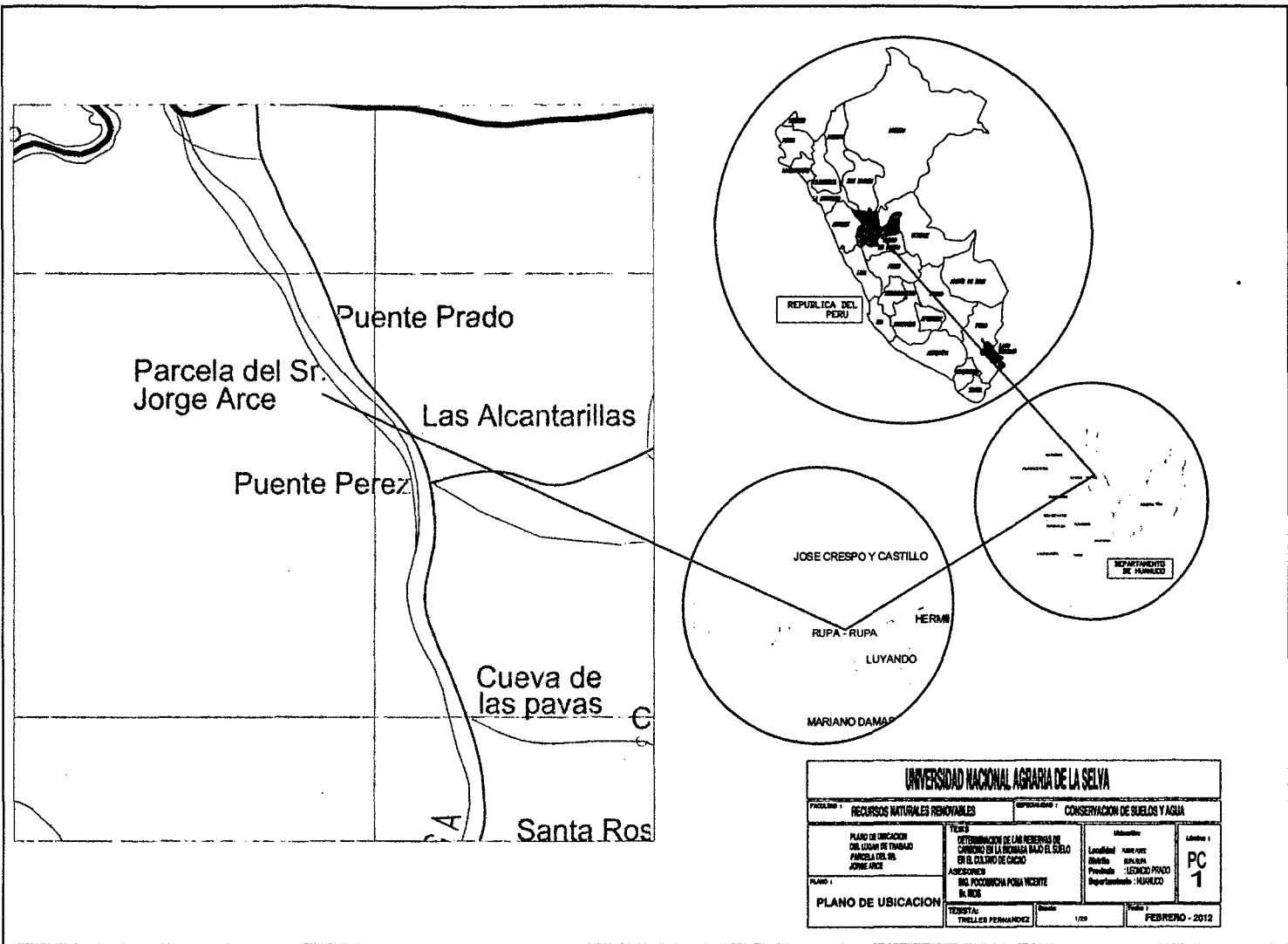
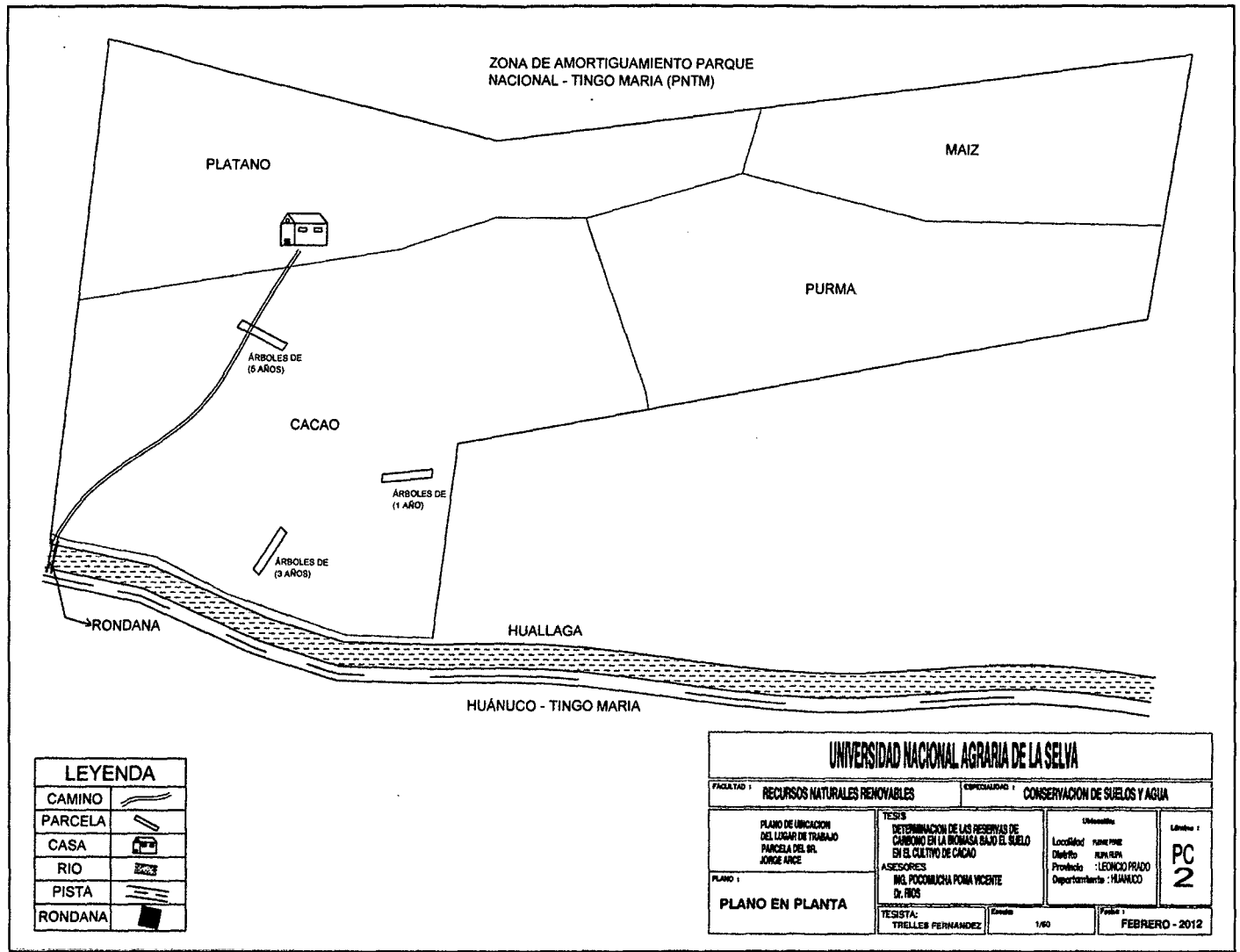


Figura 28. Ubicación de la parcela de cacao (*Theobroma cacao* L.)

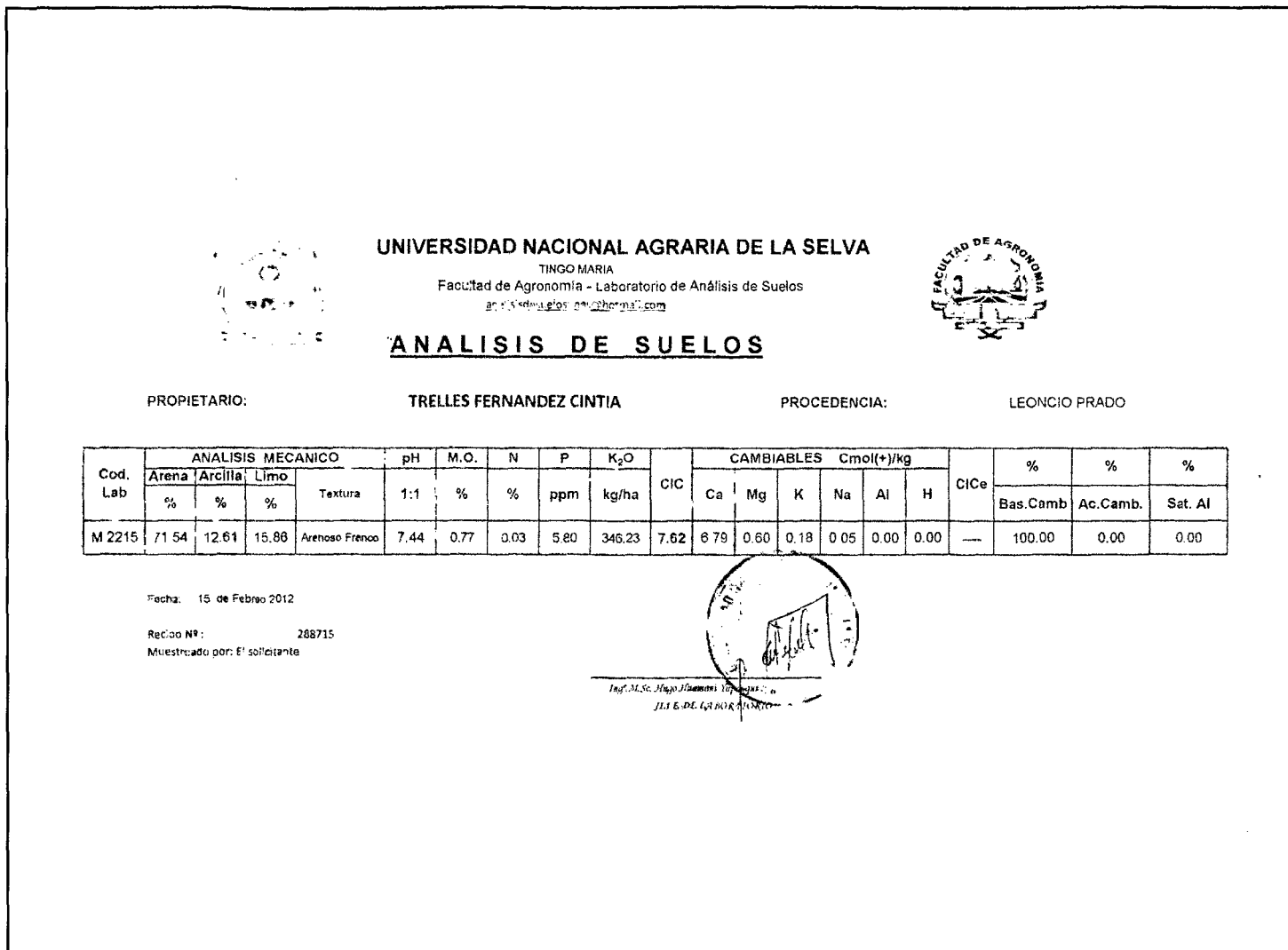
Figura 29. Ubicación de las plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) dentro del predio.



| LEYENDA | |
|---------|--|
| CAMINO | |
| PARCELA | |
| CASA | |
| RIO | |
| PISTA | |
| RONDANA | |

| UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA | | | |
|---|--|---|--|
| FACULTAD 1 | RECURSOS NATURALES RENOVABLES | ESPECIALIDAD 1 | CONSERVACION DE SUELOS Y AGUA |
| PLANO DE UBICACION DEL LUGAR DE TRABAJO PARCELA DEL SR. JORGE ARCE | TESIS DETERMINACION DE LAS RESERVAS DE CARBONO EN LA RONDANA BAJO EL SUELO EN EL CULTIVO DE CACAO | asesores ING. POCOMUCHA POMA VICENTE Dr. RIOS | Ubicación: Localidad: HUAMPRE Distrito: HUAMPRE Provincia: LEONCIO PRADO Departamento: HUANUCO |
| PLANO 1 | PLANO EN PLANTA | FECHA: TRELLES FERNANDEZ | LIBRO 1 PC 2 |
| | | Escala: 1/60 | Fecha: FEBRERO - 2012 |

Figura 30. Análisis de suelos del predio de cacao (*Theobroma cacao* L.) para determinar el porcentaje de carbono orgánico.





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

TINGO MARÍA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

LABORATORIO DE CONSERVACIÓN DE SUELOS

Propietario: Trelles Fernandez, Cintia

| PROFUNDIDAD | TITULACIÓN | | |
|-------------|------------|--------|--------|
| | 1 año | 3 años | 5 años |
| TESTIGO | 5.6 | 5.6 | 5.6 |
| 0 - 5 cm | 2.51 | 1.75 | 1.05 |
| 5 - 10 cm | 4.36 | 3.37 | 2.49 |
| 10 - 15 cm | 4.84 | 4.17 | 3.25 |

| PORCENTAJE DE MATERIA ORGÁNICA (%MO) | | | |
|--------------------------------------|------------------------------|--------|--------|
| Profundidad del suelo | Edad en las plantas de cacao | | |
| | 1 año | 3 años | 5 años |
| 0 - 5 cm | 3.56 | 2.85 | 4.20 |
| 5 - 10 cm | 1.15 | 2.06 | 2.87 |
| 10 - 15 cm | 0.70 | 1.32 | 2.17 |

Fecha: 13 de Abril del 2012

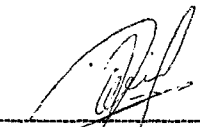

Ing. Msc. Nelino Florida, Rofner
Jefe de Laboratorio

Figura 31. Porcentaje de materia orgánica a diferentes profundidades del suelo en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) a uno, tres y cinco años de edad.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 Tingo María
 Facultad de Recursos Naturales Renovables
 Gabinete De Meteorología Y Climatología



"Año de la Integración Nacional y el Reconocimiento de Nuestra Diversidad"

Tingo María, 23 de marzo 2012

Datos Meteorológicos de la Estación de Tingo María

Coordenadas Geográficas Latitud: 09°18'00" Sur Longitud: 76°01'00" Oeste Altitud: 660 m.s.n.m

Periodo: Setiembre a Diciembre del 2011

| Periodo (meses) | temperatura del aire (°C) | | | Humedad Relativa (%) | Precipitación (mm/mes) | Horas de Sol (H.Sol) |
|-----------------|---------------------------|--------|-------|----------------------|------------------------|----------------------|
| | Máxima | Mínima | Media | | | |
| Setiembre | 30.4 | 19.7 | 25.0 | 85 | 278.8 | 170.1 |
| Octubre | 29.5 | 20.6 | 25.0 | 86 | 169.1 | 113.2 |
| Noviembre | 30.7 | 21.2 | 25.9 | 85 | 377.9 | 162.2 |
| Diciembre | 29.1 | 20.9 | 25.0 | 86 | 311.2 | 118.9 |

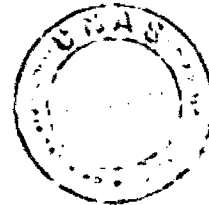


Figura 32. Datos meteorológicos dentro del periodo de ejecución de la investigación.