

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES NOVABLES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE**  
**SUELOS Y AGUA**



**“ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN EL SUELO DEL SISTEMA  
AGROFORESTAL, GUABA (*Inga edulis mart.*), CACAO (*Theobroma cacao*),  
FORESTAL, BOLAINA BLANCA (*Guazuma crinita martius*), EN EL CENTRO DE  
INVESTIGACIÓN Y PRODUCCIÓN TULUMAYO”**

**Tesis**

**Para optar el título de:**

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

**PRESENTADO POR:**

**MARLON SNIDER RENGIFO MALLQUI**

**Tingo María – Perú**

**2017**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**Tingo María- Perú**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



**ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N°096-2023-FRNR-UNAS**

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 20 de julio de 2017, a horas 7:00 p.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Aguas de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN EL SUELO DEL SISTEMA AGROFORESTAL, GUABA (*Inga edulis mart.*), CACAO (*Theobroma cacao*), FORESTAL, BOLAINA BLANCA (*Guazuma crinita martius*), UBICADO EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y PRODUCCIÓN TULUMAYO”**

Presentado por el Bachiller: **RENGIFO MALLQUI, MARLON SNIDER**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“BUENA”**.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional 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 el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 07 de noviembre de 2023

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

  
**Ing. M. Sc. SANDRO RUIZ CASTRE**  
**MIEMBRO**

  
**Dr. ROBERTO OBREGON PEÑA**  
**MIEMBRO**



  
**Dr. JOSE D. LÉVANO CRISÓSTOMO**  
**ASESOR**



“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

## CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 325 - 2023 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

### CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de investigación
-------	---	--------------------------

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN SUELO DE SISTEMAS AGROFORESTAL, GUABA ( <i>Inga edulis mart.</i> ), CACAO ( <i>Theobroma cacao</i> ), FORESTAL, BOLAINA BLANCA ( <i>Guazuma crinita martius</i> ), UBICADO EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y PRODUCCIÓN TULUMAYO	MARLON SNIDER RENGIFO MALLQUI	20 % Veinte

Tingo María, 06 de diciembre de 2023

  
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN  
Dr. Tomas Menacho Mallqui  
DIRECTOR

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE**  
**SUELOS Y AGUA**



**“ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN EL SUELO DEL SISTEMA**  
**AGROFORESTAL, GUABA (*Inga edulis mart.*), CACAO (*Theobroma cacao*),**  
**FORESTAL, BOLAINA BLANCA (*Guazuma crinita martius*), EN EL CENTRO DE**  
**INVESTIGACIÓN Y PRODUCCIÓN TULUMAYO”**

<b>Autor</b>	: Rengifo Mallqui, Marlon Snider.
<b>Asesor</b>	: Dr. José Lévano Crisóstomo.
<b>Programa de investigación</b>	: Ciencias básicas.
<b>Línea(s) de investigación</b>	: Física y química del suelo.
<b>Eje temático</b>	: Calidad de suelo.
<b>Lugar de ejecución</b>	: Sector de Picuruyacu – Tingo María.
<b>Duración del trabajo</b>	: Seis meses
<b>Financiamiento</b>	: 9 186.00
<b>Propio</b>	: Si
<b>FEDU</b>	: No
<b>Otros</b>	: No

**Tingo María – Perú**

**2023**



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN OFICINA DE  
INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
UNIVERSITARIO, INVESTIGACIÓN DOCENTE Y TESISISTA

DATOS GENERALES DE PREGRADO

**Universidad** : Universidad Nacional Agraria de la Selva.

**Facultad** : Facultad de Recursos Naturales Renovables.

**Título de Tesis** : Almacenamiento de carbono en el suelo del sistema agroforestal, guaba (*Inga edulis* Mart.), cacao (*Theobroma cacao*), bolaina blanca (*Guazuma crinica martius*), en el Centro de Investigación y Producción Tulumayo

**Autor** : Marlon Snider Rengifo Mallqui

**Asesor de tesis** : Dr. José Lévano Crisóstomo

**Escuela Profesional** : Escuela profesional de Conservación de Suelos y Agua.

**Prog. de investig.** : Ciencias básicas.

**Línea(s) de investigación** : Ecología y conservación de suelos.

**Eje temático de investigación:** Captura de carbono.

**Lugar de ejecución** : Sector de Picuroyacu – Tingo María

**Duración** : Fecha de inicio 01-10-2021  
: Fecha de término 01-02-2022

**Financiamiento** : Recursos propios. S/ 9 186.00

  
Bach. Marlon Snider Rengifo Mallqui  
TESISTA

  
Dr. JOSE D. LÉVANO CRISÓSTOMO  
ASESOR

## **DEDICATORIA**

A nuestro Dios, por darme salud, sabiduría y guiarme en este recorrer de la vida.

En la presente investigación se les agradece a todos los colaboradores que ofrecieron su apoyo incondicional, de igual forma a las personas que con su experiencia fue posible finalizar.

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, y a la Facultad de Recursos Naturales Renovables que contribuyeron sobre mi formación profesional.

A los docentes de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, a la escuela profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua, quienes brindaron sus conocimientos y experiencias en formar profesionales.

Al Dr. José Lévano Crisóstomo; asesor de la tesis, agradecer por la oportunidad ofrecida, por su aporte permanente en el presente estudio de investigación.

A los miembros del jurado de tesis, Dr. Lucio Manrique de Lara Suarez, Dr. Roberto Obregon Peña, MSc. Sandro Ruiz Castre, por su colaboración en el presente estudio.

A mis padres, hermanos y mis compañeros de la carrera profesional por su motivación y apoyo.

**El autor**

## **AGRADECIMIENTO**

A nuestro Dios, por acompañarme, guiarme y darme sabiduría a lo largo de mi vida, y por darme salud para lograr mis objetivos.

A mi querida madre Raquel Mallqui Buendía, tu amor incondicional, apoyo constante y sacrificio silencioso han sido la fuerza impulsadora detrás de mis logros académicos. Cada página de esta tesis lleva consigo un pedazo de tu infinita sabiduría y devoción, gracias por ser mi luz en los momentos oscuros y mi razón para esforzarme siempre.

A mi amado Papá, Segundo Miguel Rengifo Pacaya, cuya sabiduría, amor y apoyo inquebrantable han sido mi guía en este viaje académico. Este logro es también tuyo, te amo mucho Papá.

A mi querido hijo Adriel Tesla Rengifo Luera, este logro es un testimonio de la importancia de la educación y el deseo de ser un modelo a seguir para ti. Tú has sido mi motivación constante y mi razón para superarme. Espero que este trabajo te inspire a seguir tus propios sueños y metas. Gracias por llegar a mi vida, te amo mucho.

A mi mamita Loydie Campos Castillo, y mi abuela Aurelia Castillo Valdiviezo descansa en paz abuelita, sé que no fue fácil tenerme a tu lado, me llevo una gran admiración, para mí son las mujeres con un enorme corazón que nunca vi en mi vida estoy muy agradecido.

A mi hermano Jeferson Miguel Rengifo Mallqui, que en esta vida fue demasiado importante para mí, recuerdo las mil noches de estudio y buenos consejos, jamás estaré eternamente agradecido por ser mi hermano y nacer en esta familia en el espacio y tiempo correcto y a mi hermana Mardie Rengifo Mallqui por su eterno apoyo incondicional y sus sabios consejos, a mis demás hermanos, hermanas, les invito a lograr sus metas y objetivos y así poder escribir sus propias historias académicas.

A mis amistades y familiares, este logro no solo es mío, sino también de ustedes, pues cada uno ha dejado una huella imborrable en mi corazón y a contribuido a mi crecimiento personal y académico. Esta tesis es el resultado de nuestro esfuerzo conjunto y refleja el amor y la gratitud que siento hacia todos ustedes.

## ÍNDICE

	Página
ABSTRACT .....	7
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Objetivo general	1
1.2. Objetivos específicos	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	2
2.1. Antecedentes	2
2.1.1. Captura de carbono .....	2
2.1.2. Almacenamiento de carbono.....	2
2.1.3. El papel de los suelos en el ciclo del carbono.....	3
2.1.4. Dinámicas del carbono orgánico en los suelos .....	3
2.1.5. El papel fundamental de la materia orgánica en los suelos.....	4
2.1.6. Principales consecuencias e impacto de la captura de carbono .....	4
2.1.6.1. Impactos ambientales .....	4
2.1.7. Cálculo de la huella del carbono en plantaciones.....	6
2.2. La guaba ( <i>Inga edulis</i> Mart.)	7
2.3. Bolaina blanca	7
2.4. Investigaciones realizadas	8
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
3.1. Ubicación del área de estudio	11
3.1.1. Lugar de ejecución .....	11
3.1.2. Ubicación geográfica .....	11
3.1.3. Zonas de vida.....	11
3.1.4. Ecosistemas .....	11
3.1.4.1. Selva alta o yunga.....	11
3.1.5. Flora .....	12
3.1.6. Condiciones climáticas.....	12
3.2. Materiales, herramientas y equipos	12





4.3. Carbono total almacenado en las diferentes plantaciones	21
V. CONCLUSIONES .....	23
VI. PROPUESTA A FUTURO .....	24
VII. BIBLIOGRAFIA.....	25
VIII.ANEXO .....	29
8.1. Datos de campo	30
8.2. Panel fotográfico	34

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Resumen de las opciones para la captura de carbono.....	9
2. Promedio de carbono almacenado por los sistemas agroforestales de cacao, guaba y bolaina de tres edades. ....	91
3. Distribución de las cantidades de carbono almacenado total en los diferentes sistemas evaluados en la edad de 5 años. ....	91
4. Carbono total almacenado en un sistema forestal (bolaina). ....	19
5. Carbono almacenado total en un sistema agroforestal (cacao y guaba). ....	28
6. Determinación del COS (t/ha) del sistema forestal (bolaina) de la P1T1. ....	38
7. Determinación del COS (t/ha) del sistema forestal (bolaina) de la P1T2. ....	38
8. Determinación del COS (t/ha) del sistema agroforestal (cacao y guaba) de la P2T1. ....	38
9. Determinación del COS (t/ha) del sistema agroforestal (cacao y guaba) de la P2T2. ....	39
10. Determinación del carbono en la raíz (t/ha) sistema forestal (bolaina) de la P1T1. ....	39
11. Determinación del carbono en la raíz (t/ha) sistema forestal (bolaina) de la P1T2. ....	39
12. Determinación del carbono en la raíz (t/ha) sistema agroforestal (cacao y guaba) de la T1. ....	310
13. Determinación del carbono en la raíz (t/ha) del sistema agroforestal (cacao y guaba) de la P2T2. ....	321
14. Muestreo de hojarasca para el sistema forestal (bolaina). ....	323

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Esquema general de muestreo. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.0</b>
2. Esquema de muestreo de hojarasca (MACDICKEN, 1997). ....	141
3. Muestreo de carbono almacenado en suelo y raíces (ICRAF, 2009). ....	153
4. Carbono almacenado en los componentes de un sistema forestal. ....	190
5. Carbono almacenado en los componentes de un sistema forestal. ....	20
6. Carbono total almacenado. ....	21
7. Delimitación para el desarrollo de la tesis. ....	46
8. Recolección de muestras. ....	46
9. Determinación de puntos de muestreo con el GPS. ....	47
10. Obtención de datos de las raíces. ....	47
11. Determinación de las densidades. ....	48
12. Colocación de las muestras en estufa. ....	36
13. Obtención de datos de laboratorio. ....	48

## RESUMEN

Este trabajo de investigación surgió para solucionar el problema de el proceso de fijación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera y la falta de medidas para proteger las cuencas hidrográficas (conservación del suelo, el agua y la biodiversidad); Por ello se ha propuesto los siguientes objetivos: evaluación de las propiedades del suelo; y estimó el volumen de carbón acopiado en diferentes plantaciones: sistemas forestales y agroforestales. Todo esto se realizó en la estación experimental Tulumayo de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para el sistema agroforestal UTM en las coordenadas WGS84, el centro de la parcela es 385380. 6515 E y 8990860. 9096 N altura de 660 m sobre el nivel del mar. De manera similar, para el sistema forestal, las coordenadas UTM WGS84, el centroide de la parcela es 386172. 8456 E y 8990383. 4387 N a una altitud de 660 m. Están ubicados políticamente en la región Huánuco, provincia de Leoncio Prado, distrito de José Crespo y Castillo. Según el método establecido por el Centro de Investigaciones Agroforestales (ICRAF, 2009). De las plantaciones evaluadas, se determinó que los sistemas agroforestales tienen el mayor potencial para capturar carbono total en la hojarasca, con un valor equivalente a 317,51 Tn/ha. Mientras que el sistema forestal es de 167,19 toneladas/ha. De igual forma, la mayor cantidad de C se acumula en la tierra, se obtuvo mediante plantación de sistemas forestales con 67,29 Tn/ha, mientras que en los sistemas agroforestales fue de 51,09 Tn/ha. Podemos concluir que la mayor cantidad de C acopiado en la tierra se obtiene a través de plantación de sistemas forestales.

**Palabras claves:** Almacenamiento de carbono, Plantaciones agroforestales, Guaba, Cacao, Bolaina blanca.

## **ABSTRACT**

This research work arose to solve the problem of the process of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) fixation in the atmosphere and the lack of measures to protect watersheds (conservation of soil, water and biodiversity); For this reason, the following objectives have been proposed: evaluation of soil properties; and estimated the volume of charcoal collected in different plantations: forest and agroforestry systems. All of this was done at the experimental station Tulumayo of the National Agrarian University of the Jungle, for the UTM agroforestry system at the WGS84 coordinates, the center of the plot is 385380. 6515 E and 8990860. 9096 N height of 660 m above sea level. Similarly, for the forest system, UTM coordinates WGS84, the centroid of the plot is 386172. 8456 E & 8990383. 4387 N at an altitude of 660 m. They are politically located in the Huánuco region, province of Leoncio Prado, district of José Crespo y Castillo. According to the method established by the Center for Agroforestry Research (ICRAF, 2009). Of the plantations evaluated, agroforestry systems were found to have the greatest potential to sequester total carbon in leaf litter, with a value equivalent to 317.51 Tn/ha. While the forest system is 167.19 tons/ha. Similarly, the largest amount of carbon is stored in the soil, obtained by planting forest systems with 67.29 Tn/ha. while in agroforestry systems it was 51.09 Tn/ha. We can conclude that the largest amount of carbon stored in the soil is obtained by planting forest systems.

**Keywords:** Carbon storage, Agroforestry plantations, Guaba, Cocoa, Bolaina blanca.

## I. INTRODUCCIÓN

Los pactos realizados en Kyoto en el año 1997, resalta el mecanismo de desarrollo limpio (MLD), que fundamentalmente está enfocado en cultivos agroforestales y forestales con fines de captación de C (CONAM, 2001). Los bosques y selvas, recuperan considerable competencia adentro de ecosistemas, procreador de una sucesión de prestación ambiental, así como la adherencia de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) atmosférico, el cuidado de cuencas, protección de suelo, agua y biodiversidad.

El significado de modos agroforestales en acopio de carbono, sintetizan en dos ideas, el primero los árboles se convierten en desagüaderos de carbono a largo plazo a la captación de carbono a través de fotosíntesis y segundo que disminuyen la obligación de deforestar nueva selva para agricultura migratoria defectuoso (Clemente, 2021).

El presente trabajo de investigación generara información experto inventor, que permite estimar qué cuantía de carbono se acopia en el suelo de una plantación agroforestal (Guaba y Cacao), y en una plantación forestal (bolaina). Así como también se dará a conocer el valor ecológico del Centro de Investigación y Producción Tulumayo.

En tal sentido surge la interrogante ¿El tipo de plantación influirá en las propiedades del suelo y en el carbono almacenado? Ante lo cual se genera la respuesta hipotética “El tipo de plantación o componentes de un sistema influyen en las propiedades del suelo y en el carbono almacenado”. Por consiguiente, se plantea estos objetivos.

### 1.1. Objetivo general

- Almacenamiento de carbono en el suelo de plantación agroforestal (guaba y cacao) y forestal (bolaina) en el Centro de Investigación y Producción Tulumayo.

### 1.2. Objetivos específicos

- Estimar el contenido de carbono acopiado en plantación forestal (bolaina)
- Estimar el contenido de carbono acopiado en plantación agroforestal (cacao y guaba)

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Antecedentes

#### 2.1.1. Captura de carbono

Los SAFs han voceado especial interés por acopio de carbono que efectúan debido a virtud percibidas por gran volumen de biomasa aérea y los sistemas de raíces profundas que determinan a los árboles, que componen estos sistemas. En general, la vegetación arbórea o arbustiva ubicada dentro de los SAFs incrementa acopio de carbono ampliamente, debido especialmente al mayor volumen de su biomasa (Clemente, 2021).

#### 2.1.2. Almacenamiento de carbono

El C es la cantidad primordial en la vida planetaria, período fundamental para el crecimiento de organismos (Alegre et al., 2001). El C se acumula por partes llamadas “depósitos” y se mueve rápidamente entre ellas. Estos sedimentos, los océanos, almacenan la mayor masa de 38.000 Giga toneladas (Gt = mil millones de toneladas), sigue el suelo (1.500 Gt) y atmósfera (750 Gt). y plantas (560 Gt). Cualquier inestabilidad entre la puerta y la ida se refractará en CO<sub>2</sub> atmosférico. La absorción de CO<sub>2</sub> atmosférico por plantaciones mediante la fotosíntesis está en armonía con la absorción por plantaciones y la tierra (Chidiak et al., 2003).

La reproducción y retención de carbono son funciones ambientales de los bosques y los ecosistemas agroforestales. La retención de carbono ocurre durante la fotosíntesis en las hojas y otras partes verdes de las plantas, que recolectan CO<sub>2</sub> de la atmósfera y crea carbohidratos, liberando oxígeno y eliminando C, utilizado para producir la biomasa de la planta (que contiene madera). (Moura, 2001).

El almacenamiento de C en la tierra tuvo ventaja en todos los casos evaluados a 140 t C/ha, sabiendo que se han considerado los primeros 30 cm de profundidad de la tierra porque si bien se encontró MO a 120 cm de profundidad, se estima que los cambios pueden superar los 30 cm. son insignificantes (Gayoso, 2006., citado por Tijero, 2016).

Gayoso (2006), citado por Tijero (2016), muestra que las principales reservas de C en los ecosistemas forestales son la tierra, la flora y la cobertura. La flora es el agente que integra el C atmosférico al ciclo biológico a través de la fotosíntesis y lo intercambia a través de la cobertura foliar (mulch). Los bosques tropicales del mundo (templados y tropicales)



captan y acumulan más C que cualquier otro ecosistema terrestre y representando el 90% del flujo anual de C entre la atmósfera y la tierra.

### **2.1.3. El papel de los suelos en el ciclo del carbono**

Espinoza (2005) Durante este período, el C orgánico simbolizaba la máxima precaución al interactuar con la atmósfera y se consideraba que era aproximadamente 1500 Pg C a 1 m de fondo (aproximadamente 2 456 a 2 m de fondo). Ávila et al. (2001) El contenido de C inorgánico es de aproximadamente 1700  $\mu\text{g}$  y existe en formas más estables, como el carbonato de Ca. La flora (650 Pg) y la atmósfera (750 Pg) se acumulan mucho menos en el suelo. La exportación de C orgánico de la tierra a la atmósfera es considerable y puede ser positiva en configuraciones de captura o negativa en emisiones de CO<sub>2</sub>.

En tanto, en la antigüedad, el crecimiento de la agricultura fue la razón primordial del aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico, debido principalmente a la quema de combustibles restos en la industria y el transporte (6, 5 PG/año). Un factor considerable, si bien la tala de bosques en muchas regiones selváticas genera alrededor de 1,5 Pg/año de emisiones de C, los ecosistemas terrestres también acopio entre 1,8 Pg/año y 2 Pg/año de emisiones de C. Esto representa una gran cantidad de C faltante en el ciclo: Se podría instalar un sumidero primordialmente el norte del hemisferio norte (Arévalo et al. 2003).

### **2.1.4. Dinámicas del carbono orgánico en los suelos**

El hecho que el carbón orgánico esté concurrente en suelos naturales demuestra una relación dinámica tal que la absorción por materia vegetal muerta y la pérdida por meteorización (mineralización) (Roncal *et al.*, 2008).

Ávila *et al.* (2001) Existen reservas de carbón heterogéneos en suelos con diferentes tiempos promedio de residencia, que varían a lo largo de varios años, necesitando de la composición bioquímica. La lignina perdura más que la celulosa, desde varias décadas hasta más de 1000 años (fragmento estable).

La proporción de carbono estable debe distinguirse entre seguridad o captura física o química: seguridad física significa la encapsulación de fragmentos de MO por fracción de arcilla o por agregados macroscópicos o microcosmos de la tierra (Estrada, 2001).

Los sumideros de carbón ubican dentro de los suelos agrícolas, su volumen de almacenamiento de carbono está claramente relacionada con su materia orgánica (Ramos, 2003., citado por Tijero, 2016).

### **2.1.5. El papel fundamental de la materia orgánica en los suelos**

La sustancia orgánica del suelo es primordial factor que determina su función biológica. La cuantía, diversidad y función de las poblaciones animales y microbianas en el suelo están claramente vinculadas a la sustancia orgánica. La sustancia orgánica y la función biológica que produce tiene una influencia en las características fisicoquímicas del suelo (Gallardo, 2001).

La reposición y estabilización de la estructura del suelo aumenta su capacidad para contener sustancia orgánica. Estos, aumentan la tasa de filtración y la cabida de agua libre de la tierra, así como su resistencia a la erosión hídrica y eólica. La sustancia orgánica de la tierra también aumenta la cinética y la biodisponibilidad de nutrientes importantes para la vegetación....., (Zech et al., 1999).

### **2.1.6. Principales consecuencias e impacto de la captura de carbono**

El secuestro de carbón y el incremento de la sustancia orgánica de la tierra tendra huella directa en la calidad y fertilidad del suelo.

Tendrá importantes impactos eficaz en la escala y reforzamiento de la agricultura (Estrada, 2001).

Fisher y Trujillo (1999) señalan que exploraciones actuales muestran que la clase de conducción forestal puede contribuir significativamente al monitoreo de las concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosférico; Las tareas relacionadas con la pérdida de suelo, pueden cooperar a este objetivo son: Protección de bosques amenazados por la tala de bosques, restauración forestal, forestación, reforestación y agroforestería.

La opción más viable para incrementar la absorción de gases de efecto invernadero es la plantación de bosques en nuevas tierras con características favorables para este fin.

Las variantes a considerar para maximizar el secuestro de carbón incluyen: Especies de árboles a plantar, sus tasas de incremento y supervivencia, características del área de plantación, temporada de rotación, momento y momento de uso de productos forestales para la explotación.

#### **2.1.6.1. Impactos ambientales**

El acopio de carbón en suelos agrícolas se ha comparado con la desertificación por el papel del aumento de materia orgánica en el equilibrio estructural, la fortaleza al desgaste hídrico y eólica y la contención de agua, además de que el aspecto esencial es el recubrimiento de la superficie de los suelos. Coloque el área directamente con vegetación o con remanentes de plantas o mantillo muerto, evitar el desgaste y mejorar la protección del agua.

La sustancia orgánica, al aumentar la naturaleza del suelo, también tiene un papel protector al inmovilizar e impurificante, ya sean orgánicos como los pesticidas o minerales como los metales pesados o el aluminio, reduciendo su toxicidad.

Gallardo (2001) la cualidad excepcional del aire está asociada a una reducción de las concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosférico, debida también a otros gases de efecto invernadero el CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O. El primordial elemento que controla su aparición son las condiciones anaeróbicas, un proceso de pérdida de suelo, a menudo relacionado con condiciones hidromórficas. A medida que aumentan los pastos o los pastizales, también se deben considerar las emisiones de metano del ganado.

Roncal et al., (2008) en determinados ámbitos y necesitando de los estados climáticas, zonas húmedas o propiedades del suelo, se pueden formar altos contenidos de arcilla. Por tanto, es necesario equilibrar cuidadosamente las diferentes emisiones.

El resultado común del aumento de la sustancia orgánica de la tierra es una mejora en la amplitud amortiguadora y la resiliencia del suelo ante diversos tipos de baja o estrés.

SIFEM (2000) enfatiza que, inicialmente, la cabida de secuestro de carbón de cualquiera ecosistema superficial necesita primordialmente de dos factores: el área total de estos ecosistemas y el número de árboles por unidad de área. Los SAF pueden incluir reservorios de carbón que son muy grandes y, en algunos casos, se parecen a los reservorios de carbón que se encuentran en los bosques secundarios (Tabla 1). Asimismo, la acumulación de carbón en el suelo incrementa en los sistemas agroforestales.

El acopio de carbón depende de: especies de árboles y densidad de plantación, sustancia orgánica del suelo, edad de elementos, tipo de suelo, propiedades del sitio, factores climáticos y manejo agroforestal con el relacionado (Segura, 1997).

Tabla 1. Resumen de las opciones para la captura de carbono.

Opción	Densidad de carbono	Secuestro (corto plazo)	Costo de C
Reducir deforestación y protección de bosques	Alta	Bajo	Bajo
Reforestación	Moderada	Alto	Moderado
Silvicultura	Alta	Moderado	Bajo
Agroforestería	Baja	Moderado	Moderado
Plantaciones de madera para leña	Moderada	Alto	Alto
Productos forestales	Baja	Bajo	Bajo

### 2.1.7. Cálculo de la huella del carbono en plantaciones

A diferencia de trabajos industriales y urbanas, emiten la mayor parte del CO<sub>2</sub> a la atmósfera, los sembrados agrícolas poseen la amplitud de absorber este gas presente en el aire, lo que hace atractivos para mitigar el impacto de los fluidos de resultado invernadero.

El CO<sub>2</sub> capturado en la atmósfera se incorpora como carbón a su biomasa y luego porción similar se agrega a sustancia orgánica del suelo. Para equilibrar, las plantaciones agrícolas emiten CO<sub>2</sub> a la atmósfera, debido a la inspiración de vegetales (respiración autótrofa) y de los microorganismos del suelo (inspiración heterótrofa), que deben ser complementadas, estas emisiones son generadas por diversas actividades agrícolas. Por lo tanto, calcular las emisiones de carbono en una plantación agrícola es diferente a estimar el cambio neto de CO<sub>2</sub> entre la atmósfera y el ecosistema agrícola. Este cálculo ayudará a determinar la capacidad de la planta para capturar CO<sub>2</sub> y carbono.

Segura y Kanninen (2002) muestran las actividades forestales y agroforestales (SAF) actuar como sumideros de CO<sub>2</sub>, capturando un promedio de 95 toneladas de C/ha en áreas de selva, con un total de 2,1 mil millones de toneladas de C/año en estas áreas; Sin embargo, existen escasos análisis que evalúen el C en la parte profunda (raíces y suelo), en mantillo y en árboles muertos debido a la dificultad de la práctica (Brown, 1997., citado por Tijero, 2016).

## 2.2. La guaba (*Inga edulis* Mart.)

Reino	: Plantae
División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida
Subclase	: Rosidae
Orden	: Fabales
Familia	: Mimosaceae
Género	: <i>Inga</i>
Especie	: <i>edulis</i>

Pertenece a la familia Mimosaceae, un árbol corto de 8 a 3 m de altura; Los tallos miden de 15 a 40 cm de largo de (dap), muy ramificada, casi desde la base y corteza exterior lisa de color marrón grisáceo. Las hojas son compuestas, glandulares, en el medio de las hojas; El último folíolo es más grande que la hoja en la base, el borde es entero o ligeramente ondulado, la punta suele ser puntiaguda y la base es redondeada o incompleta, la parte superior e inferior suelen ser pubescentes, la superficie superior es de color verde oscuro con pelos concentrados. venas, la superficie superior es pubescente, bajo el color verde claro, inflorescencias en espigas axilares o inflorescencias terminales hacia la parte superior de 7 cm de altura. El fruto es un fruto cilíndrico que no se agrieta, con numerosos surcos longitudinales de 40 a 120 cm de largo (Ferrari y Wall, 2004., citado por Tijero, 2016).

## 2.3. Bolaina blanca

Clase	: magnoliopsida
Subclase	: deliniidae
Orden	: malvales
Familia	: sterculiaceae
Género	: guazuma
Especie	: crinita
Nombre común	: bolaina blanca
Nombre científico	: guazuma crinita martius

Descripción: árboles, diámetro 25 a 80 cm, altura 15 a 30 m, tronco cilíndrico, dividido en 3 tercios, origen del tronco recto. La cubierta exterior es de lisa a finamente fisurada, de color marrón claro o gris. La cubierta interna es fibrosa, formando un fino tejido reticular, de color amarillo claro, que se oxida rápidamente a marrón.

Cuando se arrancan, crecen formando haces, las últimas ramas tienen una sección transversal circular, cuando están secas son de color oscuro y de unos 3 a 4 mm de diámetro. Suele tener un color pubescente hierro hacia el ápice; La corteza se desprende en tiras fibrosas al arrancarla (Mostacero, 2002., citado por Baltazar, 2011).

Las hojas son simples, alternas y articuladas, de 10 a 18 cm de largo y de 5 a 7 cm de ancho, pecíolo de 1,5 a 2 cm de largo, en forma de lámina, lámina de la hoja ovalada, a menudo asimétrica, dentada, los tendones en forma de mano y los tendones accesorios son claramente visibles en la parte superior hacia abajo, la parte superior es afilada y puntiaguda, la base tiene forma de corazón, las hojas están cubiertas de pelos en forma de estrella y tienen escamas, especialmente en el envés.

El racimo de flores en las axilas de las hojas mide aproximadamente 8 - 12 x 3 - 6 cm y tiene abundantes flores. Flores pequeñas de 8 a 12 mm de largo, bisexuales, con sépalos y corona, pedúnculo de 4 a 8 mm de largo, con sépalos y corola, corola de 6 a 12 mm de largo, rosa pálido, con 5 pétalos, cada uno Las alas tienen forma de cuchara y dos alas, apéndice terminal largo, estambre formado a partir de cinco columnas de estambres que proporcionan numerosas anteras en la punta, gineceo con ovario pequeño arriba, ovoide.

Fruto esférico y empaquetado de aproximadamente 4 a 8 mm de diámetro con la superficie está densamente cubierta de pelos largos, cerdas, de unos 3 a 4 cm de largo (Mostacero, 2002., citado por Baltazar, 2011).

#### **2.4. Investigaciones realizadas**

En la Tabla 2 se presenta la investigación “teniendo en cuenta la acumulación de biomasa y C en cacao (*Theobroma cacao* L.) Clonación del sistema agroforestal CCN-51 a edades dispares en la provincia de Leoncio Prado”, donde la cuantía de C almacenado oscila entre 59 y 98 toneladas C/ha para el sistema cacao: guaba y de 35 a casi 85 toneladas/ha para sistema cacao: bolina (Herrera, 2010., citado por Villogas, 2013).

Tabla 2. Promedio de carbono almacenado por los sistemas agroforestales de cacao, guaba y bolaina de tres edades en la provincia de Leoncio Prado.

Edad del Cultivo	Carbono en biomasa aérea	Carbono en el suelo	Total SAF (t C/ha)
Cacao + guaba (2-3 años)	53.22	5.77	58.99
Cacao + guaba (3-4 años)	67.72	6.38	74.10
Cacao + guaba (4-5 años)	90.49	7.27	97.76
Cacao + bolaina (2-3 años)	28.81	6.23	35.04
Cacao + bolaina (3-4 años)	53.26	7.31	60.58
Cacao + bolaina (4-5 años)	76.97	7.93	84.91

Fuente: Herrera, 2010., citado por Villogas, 2013.

El Tabla 3 presenta investigaciones sobre estima y valoración de las discreción de C del cacao (*Theobroma cacao* L.) en tres sistemas de uso de la tierra (Viena, 2010, citado por Villogas, 2013). En este cuadro podemos ver que las plantaciones de cacao almacenan mayores cantidades de C que los suelos empurados, con pastos y suelos degradados.

Tabla 3. Distribución de las cantidades de carbono almacenado total en los diferentes sistemas evaluados en la edad de 5 años.

	Carbono (t/ha)			
	Cacao	Pasto	Purma	Suelo degradado
Biomasa aérea	105.788	9.585	35.265	11.77
Suelo	19.952	9.25	30.25	12.68
Total C	125.74	18.84	65.51	24.45

FUENTE: Viena, 2010., citado por Villogas, 2013.

Albrecht y Kandji (2003) muestran que la cantidad de C acopiado en la agrosilvicultura en regiones de baja humedad de América del Sur oscila 39 y 102 TnC/ha. Catriona (1998) sugirió que, en los arboledas tropicales, la cantidad de C absorbido en la tierra varía de 60 a 115 Tn C/ha. IPCC (2000) citado por Vásquez (2014) señala que el C del suelo, es más representativo que el C de la biomasa forestal. El suministro de C del suelo depende del áreas climática; con un máximo de C en la tierra en las regiones frías boreales y templadas, y un mínimo en regiones tropicales; La razón principal de esta diferencia es el efecto de la temperatura sobre la tasa de absorción y descomposición de la materia orgánica. (IPCC, 2000 y Márquez, 2000, citado por Vásquez, 2014).

Márquez (2005), citado por Vásquez (2014), indica que, en un SAF de 4 años, con cafetos pequeños umbría en la región de Tarapoto, la cantidad de C acopiado fue de 39,06 TnC/ha. Además, Torres (2005), citado por VÁSQUEZ (2014), en la misma área, resolvió que la cantidad de C almacenado en la agroforestería tradicional fue de 76,98 TnC/ha, en la zona de Los Milagros la cantidad de C acopiado disminuyó a 126,26 TnC/ha. En floresta secundario 6 años; mientras que en otras zonas el menor almacenamiento de C se encontró en SAF “cacao” *Theobroma cacao* L. con “guaba” *Inga edulis* L. a los 6 y 8 años con 96,56 TnC/ha y 104,78 TnC/ha en Aucayacu y Región 7 de Octubre -Pucayacu y SAF “cacao” *Theobroma cacao* L. asociados con “bolaina” *Guazuma crinita* C durante 3 años con 72,03 t.C/ha en el área de Maronilla.



### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Ubicación del área de estudio**

##### **3.1.1. Lugar de ejecución**

Actualmente, la indagación se realiza en el Centro de Investigaciones Tulumayo de la UNAS, en dos zonas de condiciones geográficas similares, ubicadas a 26 km de la carretera Marginal Tingo María – Aucayacu.

##### **3.1.2. Ubicación geográfica**

El Centro de Investigación Tulumayo, se localiza en las coordenadas UTM WGS84, Puntos de cada Centroides.

Sistema Forestal: 386172.8456 E, 8990383.4387 N

Sistema Agroforestal: 385380.6515 E, 8990860.9096 N

##### **3.1.3. Zonas de vida**

En la provincia de Leoncio Prado, los hábitats reconocidos son el bosque húmedo tropical (bh-t) y el bosque húmedo tropical premontano (bmh-PT). Tingo María está ubicado en el distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, a una altitud de 660 metros y tiene 6 municipios. Generalmente estas zonas tienen un clima tropical cálido y húmedo y son ricas en cacao, café, plátano, maíz amarillo duro, yuca, papaya, arroz, piña, cítricos, té, aguaje, coca, etc.

Tingo María y sus áreas periféricas se benefician de buenas condiciones de suelo y clima para las actividades cacaoteras y forestales. La mayoría de las vegetaciones de cacao se ubican y establecen por zonas aluviales, en terrenos planos o con pendientes moderadas; con suelo profundo, parcialmente fértil y buena sustancia orgánica (>3%). En suelos de laderas con pendientes que oscilan entre el 15 y el 20%, también se cultiva cacao, pero está limitado por profundidad, la fertilidad pequeña y la dureza, que restringen el potencial de rendimiento.

##### **3.1.4. Ecosistemas**

RÍOS, 2006, los ecosistemas presentes en las zonas de bosque alto, desde el punto de vista de los tipos de vegetación, son los siguientes:

###### **3.1.4.1. Selva alta o yunga**

El clima tiene una temperatura promedio de 24,5°, 3.400 mm de precipitación y 84% de humedad relativa. La acumulada vegetación se ve favorecida por las frecuentes y abundantes precipitaciones, especialmente durante periodo de diciembre a marzo.

### **3.1.5. Flora**

La diversidad y riqueza de la flora en el área del Centro de Investigaciones Tulumayo se debe a la dificultad de modelación geográfica, siendo producto de la influencia de factores geográficos (geología, cultura hidrogeofísica, suelo y clima) que proporcionan el sustrato para el crecimiento de las plantas y su idoneidad de especies y su salud, así como la vida silvestre asociada.

Las variedades vegetales incluyen especies sin flores (por ejemplo: algas, hongos, musgos y helechos) y especies con flores; Crecen como pastos, enredaderas, enredaderas, arbustos, árboles, epífitas y parásitos, llenando distintos nichos ecológicos en barrancos, quebradas, grietas de rocas y basureros de laderas escarpadas, definiendo hábitats complejos.

### **3.1.6. Condiciones climáticas**

Condiciones ambientales el clima de la Ciudad de Tingo María es tropical, cálido con una temperatura promedio anual entre 18 y 35 °C y una humedad relativa del 77,5%, con una lluvia anual de 3,400 mm. El microclima o lluvia se puede observar a distancias muy cortas, de 200 a 500 metros (RÍOS, 2006).

## **3.2. Materiales, herramientas y equipos**

### **3.2.1. Materiales**

- Rafia
- Bolsas de plástico
- Cinta de embalaje
- Papel periódico
- Plumón indeleble
- Cuaderno de apuntes
- Etiquetas
- Estacas de madera.

### **3.2.2. Herramientas**

- Machete
- Martillo
- Cuchillo
- Wincha de 100 m
- Pala recta
- Barreno
- Regla
- Tijera.

### **3.2.3. Equipos**

- GPS
- Cámara digital
- Estufa
- Balanza analítica

## **3.3. Metodología**

La realización de la indagación se desarrolla en cuatro (04) etapas básicas: labor de gabinete inicial, trabajo en campo, trabajo en laboratorio y trabajo en gabinete final.

### **3.3.1. Fase de gabinete**

#### **3.3.1.1. Estratificación del área**

Se identificó el área a estudiar donde se realizó la investigación, asimismo, la georreferenciación de puntos con Gps.

#### **3.3.1.2. Diseño de muestreo**

Se demarcó dos parcelas teniendo las mismas condiciones fisiográficas, asimismo en una parcela cobertura de plantaciones agroforestal (Guaba y Cacao), en la otra parcela plantaciones forestal (bolaina). Según el croquis se muestreo aleatorio estratificado (SCHLEGEL et al., 2001), para ello se trabajó con dos áreas de tamaño 50 m x 10 m, sumando el área total de cada área a 500 m<sup>2</sup>, respectivamente, donde se construyó una subparcela de 50 x 5 está establecido. Macdicken, 1997, las hojas caídas muestreadas se dividirán en 20 partes iguales.

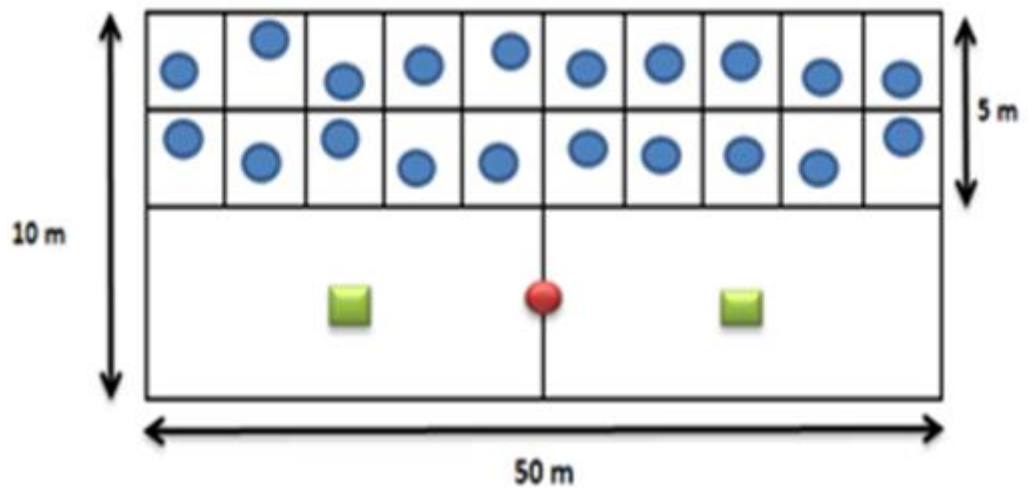





Figura 1. Esquema general de muestreo.

-  **Puntos de muestreo de densidad, textura y pH del suelo**
-  **Puntos de muestreo al azar de hojarasca**
-  **Puntos de muestreo al azar de suelo y raíces**

### 3.3.2. Fase de campo

El método utilizado para evaluar la biomasa del suelo y las raíces ha sido recomendado por el ICRAF, 2009.

#### 3.3.2.1. Obtención de la muestra de hojarasca

La hojarasca se recolectó en un área de 0,25 m<sup>2</sup> (0,50 x 0,50 m), dispuesta al azar en una subparcela temporal de 50 x 10 m (MACDICKEN, 1997) dividida en 5 lotes de muestreo. El peso reciente total se registrará cada 0,25 m<sup>2</sup> y se colocará en bolsas plásticas con códigos válidos.

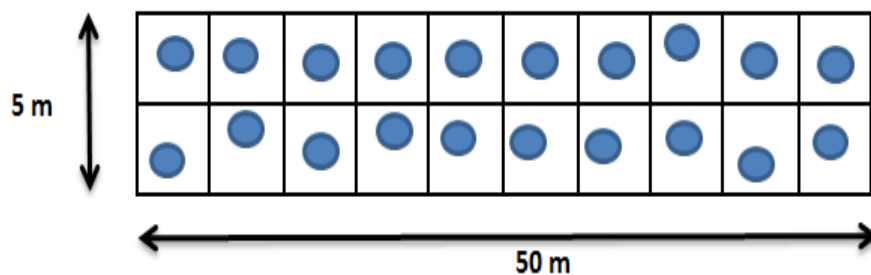


Figura 2. Esquema de muestreo de hojarasca (MACDICKEN, 1997).

#### 3.3.2.2. Obtención de la muestra de raíces

Para muestrear el C acopiado en las raíces se utilizó el método propuesto por el World Agroforestry Center (ICRAF, 2009). En agujeros con dimensiones de profundidad de 30 cm x 30 cm x 30 cm, se toman muestras con un taladro a las siguientes profundidades 0 - 10; 10 - 20 y 20 - 30 cm, poner en bolsas plásticas para analizar en laboratorio.

### 3.3.2.3. Obtención de la muestra de suelo

En lote de 10 x 50 metros se seleccionarán al azar dos (02) parcelas pequeñas con un área de 1 m<sup>2</sup> y fosos de 30 cm x 30 cm x 30 cm. La profundidad de muestreo es precisa en: 0 - 10 cm; 10 - 20 cm, 20 - 30 cm (ICRAF, 2009), muestreo de suelo según el diagrama de la Figura 1. Las muestras se toman mediante pozo, la masa de la muestra de suelo es de aproximadamente 500 g (ICRAF, 2009).

Se identificaron muestras y se enviaron al laboratorio para el conteo del carbono orgánico del suelo (COS).

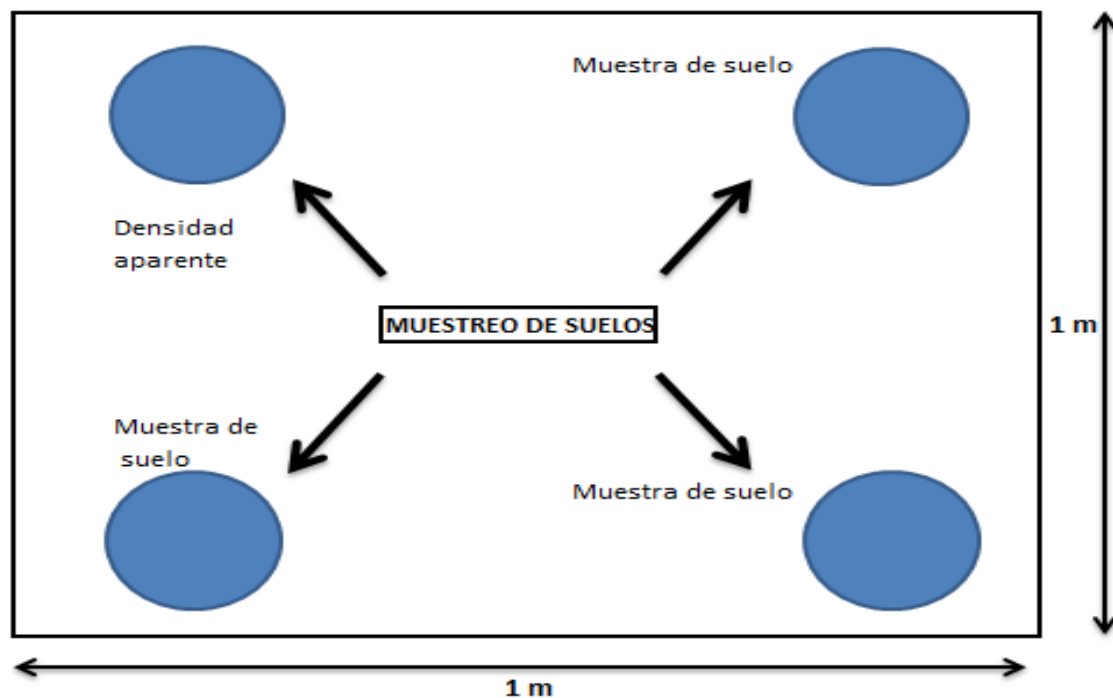


Figura 3. Diagrama de muestreo de carbono almacenado en el suelo y raíces (ICRAF, 2009).

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

En la misma parcela y subparcelas establecidas en el muestreo de C orgánico de la tierra, se colocó con un martillo un cilindro de geometría conocida; A continuación, se retira el cilindro lleno de tierra, teniendo atención no dañar la

muestra moderada en él. Luego se sacó la tierra del volumen del cilindro, se colocó en una bolsa de plástico y se transportó al laboratorio para su estudio (MACDICKEN, 1997).

### **3.3.3. Fase de laboratorio**

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

Para resolver la cantidad de C acopiado en la tierra se utilizó el método Walkley y Black, donde sería adecuado el %MO (porcentaje de sustancia orgánica) a través de su evaluación de laboratorio. Previo de enviar la muestra al laboratorio, searla a la sombra, evitando la luz solar directa sobre la muestra.

#### **3.3.3.2. Obtención de la densidad aparente por cilindro metálico**

Se usó el método proposición del Centro Mundial Agroforestal (ICRAF, 2009). Las muestras que se obtuvo para definir la DA se hicieron en estufa a una temperatura de 70 °C, tanto conseguir un peso continuo. Una vez sacada la muestra se procederá a pesar para conseguir el peso seco.

#### **3.3.3.3. Carbono almacenado en las raíces**

La generación de datos de C de línea base se efectuó según el método propuesto por el Centro Mundial Agroforestal (ICRAF, 2009). Las raíces del tallo del pozo (suelo + roca + raíces) se seleccionan mediante lavaje y tamizado, excluyendo sólo las raíces. Se pesó en báscula digital para conseguir el peso húmedo, luego se secó en estufa a 70°C durante 24 a 48 horas (hasta lograr un peso constante). Alcanzado un peso constante, se vuelve a pesar el material, secar y así obtener biomasa según la diferencia de peso. Con las estimaciones obtenidas se calcularon toneladas totales de materia seca por hectárea (t MS/ha).

#### **3.3.3.4. Carbono en hojarascas**

El cepillo húmedo resultante fue envuelto en periódico, se pesó en una báscula digital para conseguir la masa húmeda y luego se colocó en un horno a 70°C durante 72 horas; Después la muestra se seca, pesarla nuevamente para conseguir la masa seca (ICRAF, 2009).

### **3.3.4. Fase de gabinete**

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

Para determinar con precisión la cantidad de C almacenado en el suelo se utilizó la fórmula propuesta por Walkley y Black (1938):

$$COS = \frac{\%CO}{100} * DA * PS * 10000$$

COS	=	Carbono orgánico de suelos (t/ha)
%CO	=	0.58 x %MO (WALKLEY y BLACK, 1938)
Da	=	Densidad aparente (kg/m <sup>3</sup> )
Ps	=	Profundidad del suelo (m)
10 000	=	factor de conversión a toneladas por ha

#### 3.3.4.2. Cálculo para determinar el volumen del cilindro y la densidad aparente.

Se usaron posteriores fórmulas propuestas por MACDICKEN (1997) y ICRAF (2009):

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

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

Donde:

V	=	Volumen
$\pi$	=	3.1416, Valor constante
r	=	radio del cilindro
h	=	altura del cilindro
Da	=	densidad aparente
MS	=	masa seca.

#### 3.3.4.3. Biomasa de hojarasca

Se recogieron y pesaron las hojas caídas acumuladas en un subcuadrante de 0,5 m x 0,5 m, de las cuales se tomaron submuestras de valores arbitrarios y se enviaron al laboratorio para su secado en estufa hasta entender un peso determinado. La biomasa de la hojarasca se determinó mediante la siguiente ecuación:  $Bh \text{ (t/ha)} = ((PSM/PFM) \times PFT) \times 0.04$

Dónde:

Bh	=	Biomasa de la hojarasca, materia seca (t/ha)
PSM	=	Peso seco de la muestra colectada
PFM	=	Peso fresco de la muestra colectada
PFT	=	Peso fresco total por metro cuadrado
0.04	=	Factor de conversión

#### 3.3.4.4. Cálculo para la obtención de carbono almacenado en raíces

La limitación del C acopiado en las raíces se realizara según formula sugerida por ICRAF (2009)

Biomasa = Peso húmedo - peso seco

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

Donde:

0.50 = valor propuesto por el IPCC.



## IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1. Carbono almacenado en sistema forestal (bolaina)

#### 4.1.1. Plantación bolaina

Respecto a la cantidad total de C acopiado en el sistema forestal, encontramos que la cantidad total de C es de 234,48 toneladas/ha. (Tabla 4).

Tabla 4. Carbono total almacenado en un sistema forestal (bolaina).

Sistema	Componente	Carbono (Tn/ha)
Sistema Forestal	Hojarasca	167.19
	Raíz	29.64
	Suelo	37.65
CARBONO TOTAL		234.48

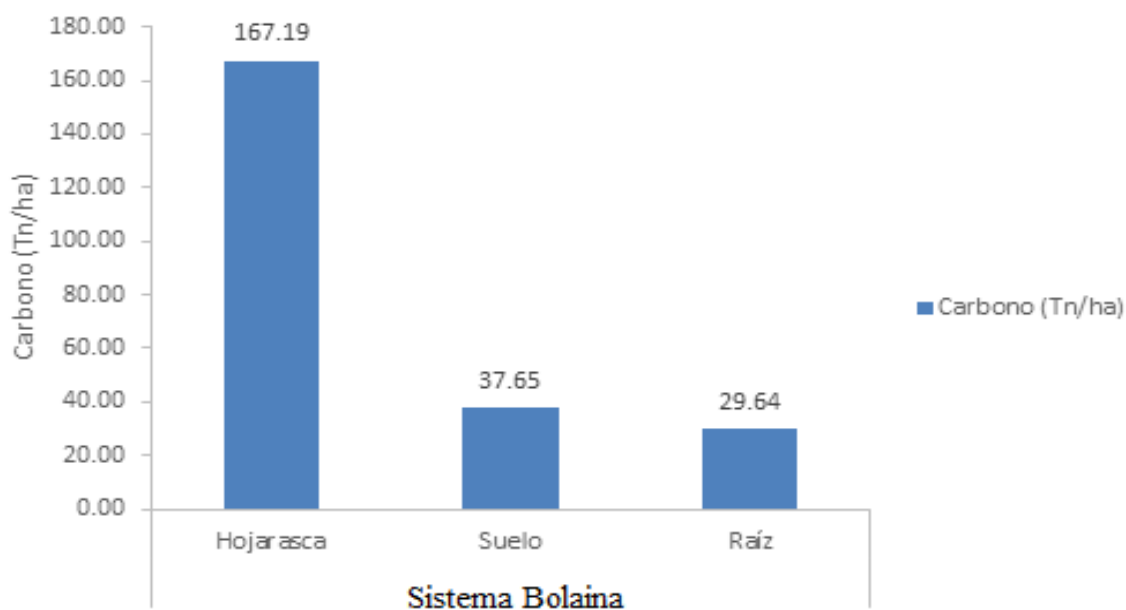


Figura 4. Carbono almacenado en los componentes de un sistema Forestal.

Los resultados del almacenamiento total de C en el sistema forestal de Tolumayo (Bolaina) muestran la cantidad de carbono en los diferentes sistemas en toneladas por hectárea (Tn/ha), obteniendo el mayor volumen de carbono total acopiado está en las hojarasca con un 167.19 Tn/ha seguido del suelo con un 37.65 Tn/ha finalmente las raíces con un 29.64 Tn/ha (Figura 4).

Los resultados muestran que el carbono se almacena en los sistemas forestales (bolaina) en la raíz es de 29.64 t/ha asimismo, en el suelo de 37.65 t/ha, mientras que en la práctica agroforestal (cacao y guaba) en la raíz es de 19.49 t/ha y en el suelo es de 31.60 t/ha. Los resultados no coinciden con lo establecido por Herrera (2010), citado por Villogas (2013). Qué nos indican mediante sus observaciones que el carbono acopiado en la práctica agroforestal fluctuó entre 59 a 98 t/ha, mientras que para la práctica cacao y bolaina es de 35 a 85 t/ha.

Sin embargo, Brown (1997) citado por Tijero (2016) afirma que existen pocos estudios que estimen C en partes subterráneas (raíces y suelo), mantillo y madera muerta a debido a la dificultad del procedimiento.

#### 4.2. Carbono almacenado en sistema agroforestal (cacao y guaba)

##### 4.2.1. Plantación agroforestal cacao y guaba

Los productos obtenidos con razón al carbono total acopiado en la práctica agroforestal son de 388.09 Tn/ha. (Cuadro 5).

Tabla 5. Carbono almacenado total en un práctica agroforestal (cacao y guaba).

Sistema	Componente	Carbono (Tn/ha)
Sistema Agroforestal	Hojarasca	317.51
	Raíz	31.60
	Suelo	19.49
<b>CARBONO TOTAL</b>		<b>368.60</b>

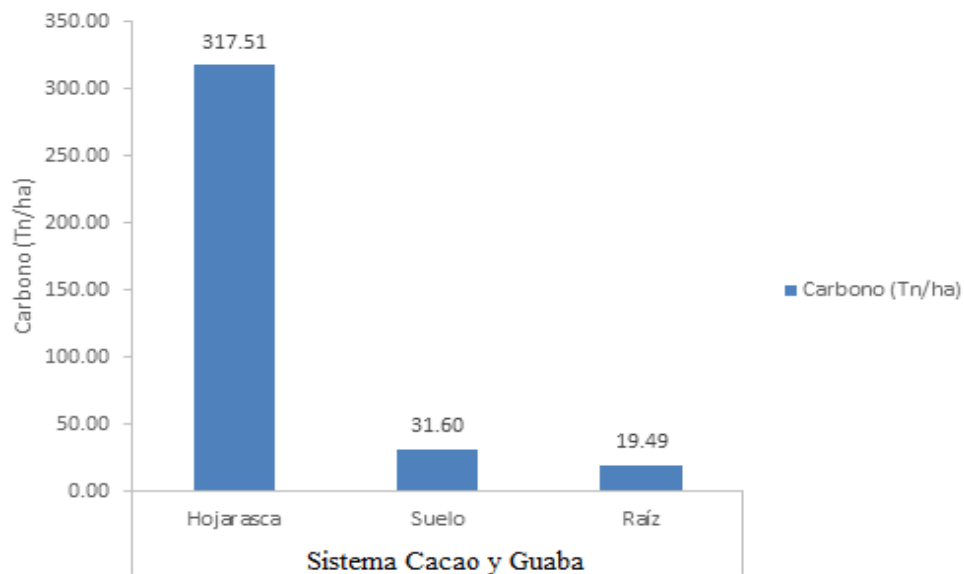


Figura 5. Carbono almacenado en los componentes de un sistema forestal.

Los resultados obtenidos de la cuantía total de C almacenado en una plantación en sistema forestal (bolaina) en Tulumayo, nos muestran la aptitud de provisión de C en toneladas por hectárea (Tn/ha) en otros componentes del sistema forestal. Obtuvieron los siguientes valores: muestra que la mayor capacidad total de almacenamiento de C se localizó en la hojarasca con 317,51 Tn/ha, seguido del suelo con 31,60 Tn/ha, y finalmente es las raíces con 19,49 Tn/ha (Figura 4).

Observamos que los resultados para el almacenamiento total de carbono variaron en cada plantación: observamos que, al comparar los sistemas agroforestales con enfoques forestales, el C de carbono de la hojarasca fue mayor en el método agroforestal con 317,51 Tn/ha, mientras que en realidad la silvicultura es inferior con 167,19 Tn/ha.

Todos estos resultados no coinciden con los resultados obtenidos por SEGURA Y KANNINEN (2002) que muestran que los sistemas forestales y agroforestales (SAF) actúan como sumideros de CO<sub>2</sub>, recogiendo una media de 95 toneladas de C/ha en las regiones tropicales.

Porque el contenido de C en el suelo es mayor en el sistema agroforestal con 99,30 Tn/ha mientras que en el sistema forestal es de 71,24 Tn/ha.

#### 4.3. Carbono total almacenado en las diferentes plantaciones

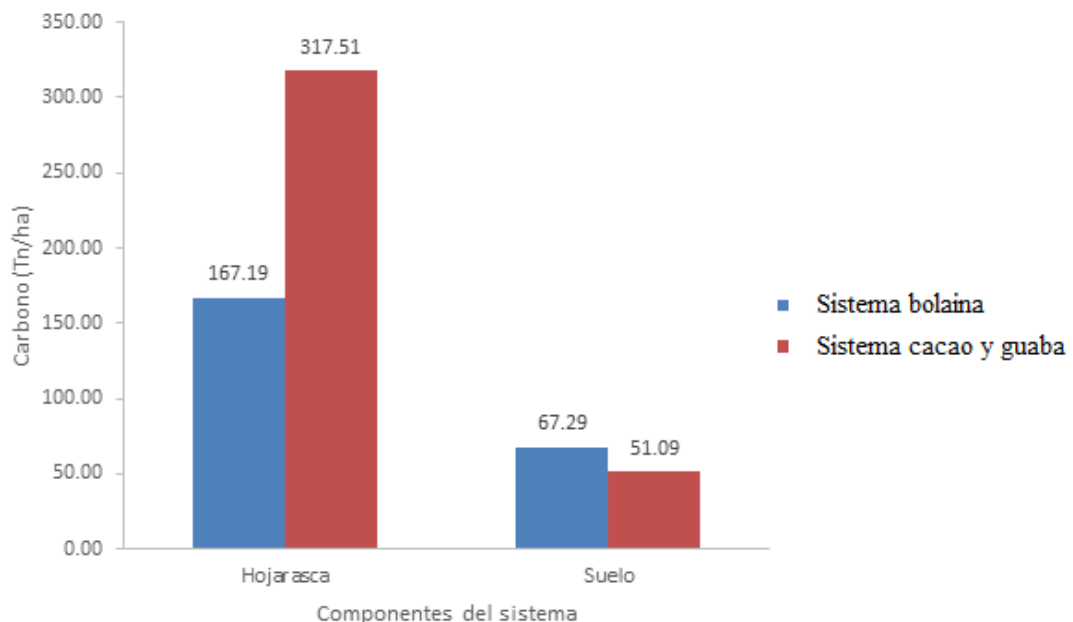


Figura 6. Carbono total almacenado.

El producto de captura total de carbono difiere en cada plantación: observamos que al comparar sistemas agroforestales con métodos forestales, el contenido de C de la

hojarasca en los métodos agroforestales es mayor con 317,51 Tn/ha mientras que en el sistema forestal es inferior con 167,19 ton/ha.

De manera similar, el volumen de C del suelo en el sistema forestal es mayor con 67,29 Tn/ha mientras que en el sistema agroforestal es de 51,09 Tn/ha (Figura 6).

## V. CONCLUSIONES

1. Lo incluido de C almacenado en las diferentes plantaciones es similar, en cuanto a la capacidad de acopio de C de cada uno de sus componentes, ya que el mayor contenido de C almacenado se obtiene en la hojarasca, seguida de las raíces y finalmente en el suelo.
2. De las plantaciones evaluadas, se determinó que los sistemas agroforestales tienen el mayor potencial para capturar carbono total en la hojarasca, con un valor equivalente a 317,51 Tn/ha. Mientras que el sistema forestal es de 167,19 toneladas/ha.
3. La mayor cuantía de C acopiado se obtiene de la hojarasca, sobre todo la forestación mediante sistemas agroforestales, mientras que la mayor cuantía de C almacenado en el suelo se obtiene mediante la forestación mediante sistemas agroforestales. Esto lo podemos citar en diferentes plantaciones con sus correspondientes sistemas agroforestales o forestales.

## **VI. PROPUESTA A FUTURO**

1. Realizar una investigación de campo integral, utilizando más indicadores de evaluación para recopilar y analizar mejores datos; obtuvieron resultados sobre la cuantía de C acopiado en los diferentes componentes de la plantación según el sistema evaluado en el tiempo.
2. Desarrollar directrices para evaluar la capacidad de almacenamiento de carbono mediante el establecimiento de diferentes tipos de cultivos alimentarios.
3. Continuar con las evaluaciones de sitio para realizar, evaluar, estimar y comparar la cuantía de C almacenado en diferentes plantaciones y la relación con propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

## VII. BIBLIOGRAFIA

- Acosta M., Etcheverris D., Monreal C., Quednow E., Hidalgo C. 2001. Un método para la medición del carbono en los compartimientos subterráneos (raíces y suelo) de sistemas forestales y agrícolas en terrenos de ladera en México. Colegio de Postgraduados, México. 15 p.
- Albrecht, A. y Kandji, T. 2003. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 99(1): 15-27.
- Alegre J., Arévalo L., Ricse A., Barbaran J. & Palm C. 2001. Reservas de Carbono y emisión de gases con diferentes sistemas de uso de la tierra en dos sitios de la amazonía peruana. Symposium Internacional de Agroforestería. Manaus, Brazil EMBRAPA 21-24 de Noviembre 2000.
- Alegre J., Ricse A., Arévalo L., Barbaran 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.
- Arevalo L.J, Alegre & Palm C. 2003. Manual de determinación de las reservas de carbono en los diferentes sistemas de uso de tierras en Perú. ICRAF, CODESU, INIA, INRENA. Ediciones Gráfica Miguel Álvarez.
- Ávila, Gabriela; Jimenez, F.; Beer, J.; Gomez, M. & Ibrahim, M. 2001. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*. 8 (30):32.
- Baltazar, A. 2011. Carbono aéreo almacenado en una plantación de bolaina blanca (*Guazuma crinita mortius*). Tesis Ingeniero en recursos naturales renovables mención forestales. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Pág 2 - 3.
- Catriona, P. 1998. Actualidad Forestal Tropical. Boletín de Manejo Forestal Producido por la Organización de Maderas Tropicales para Fomentar la Conservación y el Manejo

- Sostenible de los Recursos Forestales tropicales en la región de América Latina y el Caribe (Japón). Volumen 6, Número 4. 31p.
- CATIE. 2008. Diseño de actividades REED para la mitigación del cambio climático. Turrialba, Costa Rica. 51 p.
- ICRAFF. 2009. Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. Lima, Perú. 79 p.
- Chidiak M, A, Moreira Y C. Greco 2003. Captura de carbono y desarrollo sustentable en la Patagonia Argentina: Sinergias y Desafío. CEPAL, Universidad de San Andrés y CENIT.
- Clemente, E. 2021. Captura de carbono en sistemas agroforestales en el Peru. [En línea]. (<https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/rfp/article/view/1797/2297>, documento, octubre, 2023)
- CONAM, 2001. Primera Comunicación Nacional del Perú para la Convención de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Lima.
- Espinoza, Y. 2005. Secuestro del carbono en el suelo. CENIAP HOY. Venezuela. 07:254 – 260.
- Estrada, P. 2001. Cambio Climático Global: Causas y Consecuencias. 16 ed. México. 11 p. rujillo
- Fisher, M. y Trujillo, W. 1999. Fijación de carbono en pastos tropicales en sabanas de suelos ácidos neo-tropicales. *In* Seminario Internacional de intensificación de la Ganadería Centroamericana: beneficios económicos y ambientales (1999, Turrialba, CR). Turrialba, Costa Rica, FAO / CATIE / SIDE. p.115 -135.
- Gallardo, A. 2001. Descomposición de hojarasca en ecosistemas mediterráneos. Páginas 95-122 En R. Zamora, y F. I. Pugnaire (Editores) Ecosistemas mediterráneos. Análisis funcional. Textos Universitarios n°32, CSIC y AEET, Castillo y Edisart, S. L.



- Gayoso, J. 2006. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques nativos y plantaciones de Chile. IN Revista Forestal Iberoamericana Vol. 1, N° 1. Universidad Austral de Chile. p. 5 – 10.
- Lucena, A. 2002. Un proyecto internacional estudia la influencia de la Amazonia en el Cambio Climático; Proyecto LBA: Experimento de gran escala de la Biosfera – Atmosfera en la Amazonia, Master CTS – Universidad de Salamanca. 17 p.
- Maddicken, K. 1997. A guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects. Arlington, VA: Winrock International Institute for Agricultural Development. 43 p.
- Moura, P. 2001. La convención sobre el clima y el mercado de las contrapartes de las emisiones de carbono basadas en las actividades forestales. *Unasylva* 52(206): 34-40.
- Moura, P. 2001. La convención sobre el clima y el mercado de las contrapartes de las emisiones de carbono basadas en las actividades forestales. *Unasylva* 52(206): 34-40.
- Ramos, R. 2003. Fraccionamiento del carbono orgánico del suelo en tres tipos de uso de la tierra en fincas ganaderas de San Miguel de Barranca, Puntarenas-Costa Rica. Tesis MSc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 112p.
- Ríos, R. R. 2006. Paquete Tecnológico Ofertado por la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo Maria, para el cultivo del cacao y últimos resultados de investigación. Taller Nacional: “Estandarización de la Oferta Tecnológica del Cultivo del Cacao en el Perú” ACCESO, IICA, USAID, WCF, CICAD/OEA. Lima, Perú. 16 de Mayo 2006.
- Roncal–García, S.; Soto–Pinto, L.; Castellanos–Albores, J.; Ramírez–Marcial, N.; De Jong, B. 2008. Sistemas agroforestales y almacenamiento de carbono en comunidades indígenas de Chiapas, México. *Interciencia*, 33(3): 200–206.
- Scjlegel, B, Gayoso, J. Guerra, J. 2001. Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales. Valdivia, Chile. 17 p.

- SIFEM. Cambio climático [En línea]: (<http://www.proteccioncivil.gob.ar/calentamiento.html>, documento, 3 de Enero del 2015).
- Tijero, J. 2016. Evaluación y estimación del carbono almacenado en tres sistemas agroforestales en el distrito de José Crespo y Castillo. Tesis Ingeniero en recursos naturales renovables mención en conservación de suelos y agua. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 129p.
- Vásquez, J. 2014. Estimación de contenido de carbono aéreo almacenado en un sistema agroforestal (cacao-guaba) y el suelo en Tulumayo. Tesis Ingeniero en recursos naturales renovables mención en conservación de suelos y agua. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 82p.
- Villogas, K. 2013. Almacenamiento de carbono en sistema agroforestal (SAF) con cacao (*Theobroma cacao* L.) en producción. Tesis Ingeniero Agrónomo. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Pág. 29 - 30.
- Walkley, A., Black, A. 1938. An examination of the Degtjoreff method for determination oil organic matter, and a proposed codification of the chromic acid titration method. Soil Science.
- Zech, W.; Wilcke, W. & Valarezo, C.; 1999. Influencia del uso del suelo en las propiedades del suelo y de elementos en los bosques montañosos del Sur del Ecuador. Informe de los resultados del periodo 1997 – 1999. Loja, Ecuador.

## **VIII. ANEXO**

### 8.1. Datos de campo

Cuadro 6. Determinación del COS (t/ha) del sistema forestal (bolaina) de la P1T1.

PROFUNDIDAD	%CO	COS kg/ha	COS tn/ha
0 - 10 cm	2.03	11108.94	11.11
10 - 20 cm	0.44	4340.75	4.34
20 - 30 cm	0.24	3335.36	3.34
Total		18785.04	18.79

Cuadro 7. Determinación del COS (t/ha) del sistema forestal (bolaina) de la P1T2.

PROFUNDIDAD	%CO	COS kg/ha	COS tn/ha
0 - 10 cm	2.09	11119.05	11.12
10 - 20 cm	0.41	4188.42	4.19
20 - 30 cm	0.23	3560.46	3.56
Total		18867.93	18.87

Cuadro 8. Determinación del COS (t/ha) del sistema agroforestal (cacao y guaba) de la P2T1.

PROFUNDIDAD	%CO	COS kg/ha	COS tn/ha
0 - 10 cm	1.86	9466.56	9.47
10 - 20 cm	0.37	3489.15	3.49
20 - 30 cm	0.28	2835.38	2.84
Total		15791.09	15.79

Cuadro 9. Determinación del COS (t/ha) del sistema agroforestal (cacao y guaba) de la P2T2.

PROFUNDIDAD	%CO	COS kg/ha	COS tn/ha
0 - 10 cm	1.80	9587.69	9.59

10 - 20 cm	0.37	3441.65	3.44
20 - 30 cm	0.23	2784.00	2.78
Total		15813.34	15.81

Cuadro 10. Determinación del carbono en la raíz (t/ha) del sistema forestal (bolaina) de la P1T1.

PROFUNDIDAD	P_FRESCO	P_SECO	BIOMASA	C tn/ha
0 -10 cm	22.20	5.80	16.40	8.20
10 - 20 cm	11.00	3.98	7.02	3.51
20 - 30 cm	8.00	2.90	5.10	2.55
Total	41.20	12.68	28.52	14.26

Cuadro 11. Determinación del carbono en la raíz (t/ha) del sistema forestal (bolaina) de la P1T2.

PROFUNDIDAD	P_FRESCO	P_SECO	BIOMASA	C tn/ha
0 -10 cm	23.61	6.10	17.51	8.76
10 - 20 cm	13.00	4.25	8.75	4.38
20 - 30 cm	6.00	1.50	4.50	2.25
Total	42.61	11.85	30.76	15.38

Cuadro 12. Determinación del carbono en la raíz (t/ha) del sistema agroforestal (cacao y guaba) de la P2T1.

PROFUNDIDAD	P_FRESCO	P_SECO	BIOMASA	C tn/ha
0 -10 cm	17.50	4.70	12.80	6.40
10 - 20 cm	8.10	1.45	6.65	3.33
20 - 30 cm	1.50	0.59	0.91	0.46
Total	27.10	6.74	20.36	10.18

Cuadro 13. Determinación del carbono en la raíz (t/ha) del sistema agroforestal (cacao y guaba) de la P2T2.

PROFUNDIDAD	P_FRESCO	P_SECO	BIOMASA	C tn/ha
0 -10 cm	16.23	3.80	12.43	6.22
10 - 20 cm	7.10	1.59	5.51	2.76
20 - 30 cm	1.10	0.42	0.68	0.34
Total	24.43	5.81	18.62	9.31

Cuadro 14. Muestreo de hojarasca para el sistema forestal (bolaina).

Est. De Muest.	# Sub parcelas	Peso fresco Pf (g.)	Peso seco Ps (g.)	Biomasa = (Pf - Ps)	t/ha
	A1	66.31	36.98	29.33	14.67
	A2	17.86	11.09	6.77	3.39
	A3	20.10	7.75	12.35	6.18
	A4	23.25	13.74	9.51	4.76
	A5	36.95	21.15	15.80	7.90
	A6	42.96	21.69	21.27	10.64
	A7	56.11	40.56	15.55	7.78
PARCELA 1	A8	32.99	25.13	7.86	3.93
	A9	40.31	29.76	10.55	5.28
	A10	68.52	51.14	17.38	8.69
	A11	50.34	31.25	19.09	9.55
	A12	59.21	32.28	26.93	13.47
	A13	66.88	42.63	24.25	12.13
	A14	55.78	34.62	21.16	10.58
	A15	48.14	27.82	20.32	10.16
	A16	37.67	23.73	13.94	6.97

A17	35.93	17.98	17.95	8.98
A18	34.43	21.35	13.08	6.54
A19	31.21	10.69	20.52	10.26
A20	21.48	10.73	10.75	5.38
<b>Total</b>	<b>846.43</b>	<b>512.05</b>	<b>334.38</b>	<b>167.19</b>

Cuadro 15. Muestreo de hojarasca para el sistema agroforestal (cacao y guaba).

<b>Est. De Muest.</b>	<b># Sub parcelas</b>	<b>Peso fresco Pf (g.)</b>	<b>Peso seco Ps (g.)</b>	<b>Biomasa = (Pf - Ps)</b>	<b>t/ha</b>
	A1	85.43	34.66	50.77	25.39
	A2	84.07	37.30	46.77	23.39
	A3	50.43	21.75	28.68	14.34
	A4	41.88	19.74	22.14	11.07
	A5	52.14	20.79	31.35	15.68
	A6	67.44	31.78	35.66	17.83
	A7	65.74	26.50	39.24	19.62
	A8	84.67	33.72	50.95	25.48
	A9	85.68	27.81	57.87	28.94
PARCELA 2	A10	43.77	17.22	26.55	13.28
	A11	36.87	15.33	21.54	10.77
	A12	39.46	16.82	22.64	11.32
	A13	71.00	27.86	43.14	21.57
	A14	32.25	14.91	17.34	8.67
	A15	30.89	14.33	16.56	8.28
	A16	39.77	20.67	19.10	9.55
	A17	41.11	18.99	22.12	11.06
	A18	43.14	21.15	21.99	11.00
	A19	55.04	22.13	32.91	16.46
	A20	50.95	23.27	27.68	13.84
<b>Total</b>		<b>1101.73</b>	<b>466.71</b>	<b>635.02</b>	<b>317.51</b>

## 8.2. Panel fotográfico



Figura 7. Delimitación para el desarrollo de la tesis.



Figura 8. Recolección de muestras.





Figura 9. Determinación de puntos de muestreo con el GPS.



Figura 10. Obtención de datos de las raíces.



Figura 11. Determinación de las densidades.



Figura 12. Colocación de las muestras en estufa.



Figura 13. Obtención de datos de laboratorio.