

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



**CARBONO ALMACENADO EN TRES SISTEMAS DE USO DEL SUELO EN EL**  
**DISTRITO DE UCHIZA - SAN MARTÍN**

**Tesis**

**Para optar el título de:**

**INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**

**PRESENTADO POR:**

**MARUJA NOHELY SANTOS PEÑA**

**Tingo María - Perú**

**2023**



**ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N°037-2024-FRNR-UNAS**

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 31 de marzo de 2023, a horas 07:00 p.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“CARBONO ALMACENADO EN TRES SISTEMAS DE USO DEL SUELO EN  
EL DISTRITO DE UCHIZA – SAN MARTÍN”**

Presentado por la Bachiller: **SANTOS PEÑA, Maruja Nohely**, 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 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, 18 de marzo de 2024

**Dr. JOSE DOLORES LEVANO CRISOSTOMO**  
**PRESIDENTE**

  
**Ing. JAIME TORRES GARCIA**  
**MIEMBRO**

  
**Dr. ROBERTO OBREGÓN PEÑA**  
**MIEMBRO**



  
**Ing. M. Sc. JUAN P. RENGIFO TRIGOZO**  
**ASESOR**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE INVESTIGACIÓN - DGI  
REPOSITORIO INSTITUCIONAL - UNAS  
Correo: [repositorio@unas.edu.pe](mailto:repositorio@unas.edu.pe)



“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

## CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 128 - 2024 - 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 Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
CARBONO ALMACENADO EN TRES SISTEMAS DE USO DEL SUELO EN EL DISTRITO DE UCHIZA - SAN MARTÍN	MARUJA NOHELY SANTOS PEÑA	<b>17 %</b> <b>Diecisiete</b>

Tingo María, 10 de abril de 2024

  
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN  
Dr. Tomas Menacho Mallqui  
JEFE

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



**CARBONO ALMACENADO EN TRES SISTEMAS DE USO DEL SUELO EN EL**  
**DISTRITO DE UCHIZA - SAN MARTÍN**

**Autor** : Bach. Maruja Nohely Santos Peña

**Asesor** : Ing. Juan Pablo Rengifo Trigozo

**Programa de Investigación** : Cambio climático

**Línea (s) de Investigación** : Escenarios climáticos futuros y sus potenciales

**Eje Temático de Investigación** : Captura de carbono

**Lugar de Ejecución** : Distrito Uchiza

**Duración** : 6 meses

**Fecha de Inicio:** Mayo 2020

**Término** : Enero 2022

**Financiamiento** : s/. 2,519.55

**FEDU** : No

**Propio** : Si

**Otros** : No

## DEDICATORIA

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad.

Mi mamá Nely la persona incondicional en cada paso logrado y el apoyo que me brindó en cada momento necesario; a mi papá Oscar que no está presente, pero fué en gran parte el impulso a seguir hasta el final.

A mi abuelita Marlene que a pesar de las circunstancias estuvo conmigo hasta donde Dios le dió vida.

Por último, a mis hermanos Teófilo, Jeferson, Jaerok que fueron el motivo y la fuerza de seguir luchando para ser inspiración de que el apoyo siempre será mutuo, gracias familia.

## AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Recursos Naturales Renovables, por haberme permitido formarme en ella, gracias a todas las personas que fueron partícipes de este proceso, ya sea de manera directa o indirecta, gracias a todos ustedes, fueron ustedes los responsables de realizar su pequeño aporte, que el día de hoy se vería reflejado en la culminación de mi paso por la universidad.
- A todos mis profesores de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, quienes contribuyeron en mi formación académica.
- A los miembros integrantes del jurado de tesis: Ing. M.Sc. Lévano Crisóstomo José; Dr. Roberto Obregón Peña; Ing. Jaime Torres Gracia, por el tiempo tomado para la evaluación de mi tesis.
- Al Ing. M.Sc. Rengifo Trigozo Juan Pablo, asesor del trabajo de investigación, por su amistad y desinteresada asistencia en la presente tesis.
- A mi familia; por ser los principales promotores de mi sueño; gracias a ellos por confiar, creer y las palabras de aliento; gracias a mi madre por estar dispuesta a acompañarme cada momento de mi vida, estando en las largas y agotadoras noches con una taza de café.

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Objetivo general .....	1
1.2. Objetivos específicos .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	2
2.1. Marco teórico .....	2
2.1.1. Sistemas de uso del suelo.....	2
2.1.2. Almacenamiento de carbono .....	3
2.2. Estado del Arte .....	5
2.2.1. Antecedentes sobre carbono almacenado .....	5
2.2.2. Antecedentes sobre <i>Theobroma cacao</i> (cacao).....	7
2.2.3. Antecedentes sobre <i>Brachiaria brizantha</i> (pasto mejorado) .....	7
2.2.4. Antecedentes sobre <i>Pteridium aquilinum</i> (macorilla) .....	8
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	9
3.1. Lugar de ejecución.....	9
3.1.1. Ubicación política .....	9
3.1.2. Ubicación geográfica .....	9
3.1.3. Zonas de vida .....	10
3.1.4. Flora silvestre.....	10
3.1.5. Fauna silvestre .....	10
3.1.6. Suelos.....	10
3.1.7. Clima.....	11
3.1.8. Vías de acceso.....	11
3.1.9. Características de los sistemas .....	11
3.2. Materiales y equipos.....	12
3.2.1. Materiales.....	12
3.2.2. Equipos .....	12
3.3. Generalidades de la investigación.....	12
3.3.1. Tipo de estudio.....	12
3.3.2. Nivel de estudio .....	12
3.3.3. Variables en estudio.....	13
3.3.4. Operacionalización de variables .....	13
3.4. Metodología .....	14

3.4.1.	Estimación del carbono en el suelo y biomasa radicular de los tres sistemas de uso del suelo con <i>Theobroma cacao</i> “cacao”, <i>Pteridium aquilinum</i> “macorilla” y <i>Brachiaria brizantha</i> “pasto mejorado” en el distrito Uchiza - región San Martín .....	14
3.4.2.	Estimación de carbono en la biomasa herbácea y hojarasca en los tres sistemas de uso del suelo con <i>Theobroma cacao</i> “cacao”, <i>Pteridium aquilinum</i> “macorilla” y <i>Brachiaria brizantha</i> “pasto mejorado” en el distrito Uchiza - región San Martín.....	17
3.4.3.	Estimación del carbono total almacenado en los tres sistemas de uso del suelo con <i>Theobroma cacao</i> “cacao”, <i>Pteridium aquilinum</i> “macorilla” y <i>Brachiaria brizantha</i> “pasto mejorado” en el distrito Uchiza - región San Martín.....	18
3.4.4.	Análisis de los datos .....	20
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
4.1.	Carbono orgánico almacenado en el suelo y biomasa radicular de los tres sistemas de uso del suelo con <i>Theobroma cacao</i> “cacao”, <i>Pteridium aquilinum</i> “macorilla” y <i>Brachiaria brizantha</i> “pasto mejorado” en el distrito Uchiza - región San Martín .....	21
4.1.1.	Carbono orgánico en el suelo.....	21
4.1.2.	Carbono orgánico en la biomasa radicular .....	23
4.2.	Carbono de la biomasa superficial (herbáceo y hojarasca) en los tres sistemas de uso del suelo con <i>Theobroma cacao</i> “cacao”, <i>Pteridium aquilinum</i> “macorilla” y <i>Brachiaria brizantha</i> “pasto mejorado” en el distrito Uchiza - región San Martín .....	25
4.2.1.	Carbono orgánico en la biomasa herbácea .....	25
4.2.2.	Carbono orgánico en la biomasa herbácea .....	28
4.3.	Carbono orgánico total almacenado en los tres sistemas de uso del suelo con <i>Theobroma cacao</i> “cacao”, <i>Pteridium aquilinum</i> “macorilla” y <i>Brachiaria brizantha</i> “pasto mejorado” en el distrito Uchiza - región San Martín.....	30
V.	CONCLUSIONES .....	33
VI.	PROPUESTA A FUTURO .....	34
VII.	REFERENCIAS.....	35
	Anexo.....	39



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Coordenadas de los sistemas de uso del suelo y el laboratorio. ....	9
2. Variables en estudio. ....	13
3. Esquema del ANVA. ....	20
4. Resumen de datos observados para la variable carbono orgánico almacenado en el suelo de diferentes sistemas de suelo. ....	21
5. Análisis de varianza (ANOVA) para variable carbono orgánico almacenado en el suelo de diferentes sistemas de uso. ....	22
6. Promedio de carbono orgánico almacenado en el suelo de diferentes sistemas de uso (t/ha). ....	22
7. Resumen para la variable carbono almacenado en la biomasa radicular de diferentes sistemas de suelo. ....	24
8. Análisis de varianza (ANOVA) para variable carbono orgánico almacenado en la biomasa radicular de diferentes sistemas de uso. ....	24
9. Promedio de carbono orgánico almacenado en la biomasa radicular de diferentes sistemas de uso (t/ha). ....	25
10. Resumen para la variable carbono almacenado en la biomasa herbácea de diferentes sistemas de suelo. ....	26
11. Análisis de varianza (ANOVA) para variable carbono orgánico almacenado en la biomasa herbácea de diferentes sistemas de uso. ....	26
12. Promedio de carbono orgánico almacenado en la biomasa herbácea de diferentes sistemas de uso (t/ha). ....	27
13. Resumen de datos para la variable carbono almacenado en la hojarasca de diferentes sistemas de suelo. ....	28
14. Análisis de varianza (ANOVA) para variable carbono orgánico almacenado en la hojarasca de diferentes sistemas de uso. ....	29
15. Promedio de carbono orgánico almacenado en la hojarasca de diferentes sistemas de uso (t/ha). ....	29
16. Carbono orgánico total almacenado en diferentes sistemas de suelo. ....	31
17. Valores de carbono orgánico almacenado en el suelo (kg.ha <sup>-1</sup> ). ....	52
18. Valores de carbono orgánico almacenado en las raíces (kg.ha <sup>-1</sup> ). ....	53

19. Valores de carbono orgánico almacenado en la necromasa ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). ..... 54
20. Valores de carbono orgánico almacenado en la hojarasca ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). ..... 54

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Ubicación de la parcela de macorilla y cacao. ....	9
2. Ubicación de la parcela pastizal. ....	10
3. Parcela y subparcelas para el muestreo de suelo, hojarasca y raíces en los sistemas de uso del suelo en estudio. ....	14
4. Esquema para el muestreo de suelos y la densidad aparente.....	15
5. Promedio de carbono orgánico almacenado en diferentes sistemas de uso del suelo.....	23
6. Carbono orgánico radicular en los 3 sistemas de uso de suelo. ....	25
7. Promedio de carbono orgánico almacenado en la biomasa herbácea de diferentes sistemas de uso del suelo (t/ha). ....	27
8. Promedio de carbono orgánico almacenado en la biomasa herbácea de diferentes sistemas de uso del suelo (t/ha). ....	30
9. Porcentaje de carbono orgánico almacenado por fracciones en los diferentes sistemas de uso del suelo (t/ha). ....	31
10. Línea tendencia del almacenamiento de carbono orgánico por fracciones en los diferentes sistemas de uso del suelo (t/ha).....	32
11. Instalación de parcela con sistema agroforestal de cacao. ....	40
12. Instalación de subparcelas según croquis de parcela.....	40
13. Vista panorámica de subparcela con sistema agroforestal. ....	41
14. Profundidad de muestreo de suelos (30 cm). ....	41
15. Obtención de muestra de suelo para determinación de carbono orgánico en el suelo.....	42
16. Muestreo de hojarasca del suelo en sistema agroforestal.....	42
17. Vista panorámica de la parcela con presencia de macorilla. ....	43
18. Muestreo de biomasa herbácea del sistema con macorilla.....	43
19. Muestreo de biomasa herbácea de macorilla.....	44
20. Muestreo de suelo para determinación de materia orgánica en el sistema con macorilla.....	44
21. Extracción de cilindro muestreador de densidad aparente en la parcela de sistema con macorilla. ....	45

22.	Pesado de muestras de hojarasca.....	45
23.	Pesado de muestras de suelo. ....	46
24.	Llevado de muestras a la estufa.....	46
25.	Ubicación de la parcela pastizal. ....	47
26.	Ubicación de la parcela macorilla y cacao. ....	48

## RESUMEN

La investigación se realizó con la finalidad de cuantificar el carbono almacenado en tres sistemas de uso del suelo en el distrito de Uchiza - San Martín. Los objetivos fueron estimar el carbono en el suelo, biomasa radicular, biomasa superficial (herbáceo y hojarasca), carbono total en diferentes sistemas de uso. El muestreo de carbono orgánico del suelo y raíces se estableció dos subparcelas de 10 m x 25 m en la que se ubicó aleatoriamente dos (2) subparcelas con un área de 1,0 m<sup>2</sup> (1,0 m x 1,0 m). Los resultados, el sistema agroforestal presenta mayor almacenamiento de carbono orgánico en el suelo (26,09 t/ha), pastura (20,11 t/ha), y macorilla (14,36 t/ha). Los sistemas agroforestal y macorilla mostraron mayor promedio de almacenamiento de carbono en la biomasa radicular y herbácea con (7,58 t/ha y 6,03 t/ha) y (2,36 t/ha y 1,90 t/ha), mientras que el sistema con pastura mostro mayor promedio en biomasa radicular con (3,38 t/ha). Los sistemas agroforestal y pastura mostraron mayor promedio de almacenamiento de carbono en la hojarasca (3,36 t/ha y 3,41 t/ha respectivamente), mientras que el sistema con macorilla presentó menor cantidad (2,56 t/ha). Finalmente se acepta la hipótesis alternante, al existir evidencia estadística que el sistema agroforestal mostro mayor almacenamiento de carbono orgánico total (39,39 t/ha) respecto a los sistemas de uso con pastura (29,48 t/ha) y macorilla (24,85 t/ha).

**Palabras clave:** Biomasa radicular, biomasa superficial, carbono almacenado, sistemas de uso.

## ABSTRACT

The research was carried out with the purpose of quantifying the carbon stored in three land use systems in the district of Uchiza - San Martín. The objectives were to estimate carbon in the soil, root biomass, surface biomass (herbaceous and leaf litter), total carbon in different use systems. The organic carbon sampling of the soil and roots was established in two 10 m x 25 m subplots in which two (02) subplots with an area of 1.0 m<sup>2</sup> (1.0 m x 1.0 m) were randomly located. The results, the agroforestry system presents greater storage of organic carbon in the soil (26.09 t/ha), pasture (20.11 t/ha), and macorilla (14.36 t/ha). The agroforestry and macorilla systems showed higher average carbon storage in root and herbaceous biomass with (7.58 t/ha and 6.03 t/ha) and (2.36 t/ha and 1.90 t/ha), while the pasture system showed higher average root biomass with (3.38 t/ha). The agroforestry and pasture systems showed a higher average carbon storage in the litter (3.36 t/ha and 3.41 t/ha respectively), while the system with macorilla presented a lower amount (2.56 t/ha). Finally, the alternative hypothesis is accepted, since there is statistical evidence that the agroforestry system showed greater storage of total organic carbon (39.39 t/ha) with respect to the use systems with pasture (29.48 t/ha) and macorilla (24.85 t/ha).

**Keywords:** Root biomass, surface biomass, stored carbon, use system

## I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es una de las principales amenazas al medio ambiente mundial (Concha et al., 2007), y se estima que el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) representa 71,5% del efecto invernadero (Aguirre et al., 2006). Esto se debe principalmente al uso ineficiente de combustibles fósiles y a los cambios en el uso del suelo (Samayoa, 2009). Las cifras reportadas por el Marco de Carbono para el Cambio Climático sugieren que anualmente se liberan 1.600 millones de toneladas de carbono debido a la deforestación, donde una tonelada de carbono equivale 3,67 toneladas de dióxido de carbono (Rojas *et al.*, 2009).

Uno de los efectos indirectos del carbono es el cambio insostenible de uso de la tierra, pero para otros, crea un nuevo sistema de uso que muestra relación entre las diferentes partes entre árboles, arbustos, pastos y hojarasca se encuentran como parte de la captura de carbono, mientras que en caso de otros sistemas donde solo existe vegetación de pequeño porte presentan cantidades importantes de carbono almacenado, pero la determinación es limitada por que no hay información sobre cuanto carbono se almacena entre sistemas. Por lo antes mencionado, esta investigación presenta las siguientes preguntas ¿Cuál será la cantidad de carbono almacenado que contienen los tres sistemas de uso del suelo en la región San Martín?, concluyéndose que los sistemas con *Theobroma cacao* L “cacao” almacenan mayor cantidad de carbono total que *Pteridium aquilinum* (macorilla) y *Brachiaria brizantha* (pasto mejorado). Respecto a este contexto se plantean los siguientes objetivos:

### 1.1. Objetivo general

Determinar la cantidad de carbono almacenado en el suelo entre tres sistemas de uso en el distrito Uchiza - región San Martín.

### 1.2. Objetivos específicos

- Estimar el carbono en el suelo y biomasa radicular de los tres sistemas de uso del suelo con *Theobroma cacao* “cacao”, *Pteridium aquilinum* “macorilla” y *Brachiaria brizantha* “pasto mejorado” en el distrito Uchiza - región San Martín.
- Estimar el carbono de la biomasa superficial (herbáceo y hojarasca) entre sistemas de uso de suelo en el distrito Uchiza - región San Martín.
- Estimar el carbono total almacenado en los tres sistemas de beneficio del suelo.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Marco teórico

#### 2.1.1. Sistema de uso de suelo

Los cambios ecológicos provocados por las actividades humanas son la principal causa de la contaminación del suelo y del desequilibrio ecológico, por lo que se deben proteger las especies para aprovechar mejor los recursos y no destruir el ecosistema (Jaramillo, 2004).

##### 2.1.1.1. Sistema de bosque secundario

Los árboles juegan un papel importante en el control de las concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosférico, ya que fijan CO<sub>2</sub> a través de la fotosíntesis y pueden almacenar carbono en su estructura arbórea durante mucho tiempo, por lo que fueron considerados una reserva natural (Arévalo *et al.*, 2003).

Los árboles almacenan a través de la fotosíntesis el componente de carbono en su estructura de la madera durante mucho tiempo, por lo que deben considerarse como almacenamiento natural de carbono; la capacidad de un ecosistema forestal para almacenar carbono en forma de biomasa aérea depende de la composición de las plantas, la edad, la estratificación y la densidad de población de las comunidades vegetales (Schulze, 2000).

Hay varios factores que afectan la capacidad de almacenamiento de carbono de los bosques, por lo que no todos los tipos de bosques tienen la misma capacidad de secuestro, lo que afecta la densidad de los árboles (Jandl, 2001).

##### 2.1.1.2. Sistema de pastizal

Al acumular dióxido de carbono, los pastos tienen un gran potencial para mitigar el cambio climático. Si se gestionan adecuadamente, los pastos pueden ser más importantes que los bosques para generar créditos de carbono (Albrecht y Kandji, 2003).

Entre las plantas C<sub>3</sub> o C<sub>4</sub>, este grupo de plantas también puede clasificarse según las vías de fijación de carbono, predominando la primera en condiciones de temperatura ambiente baja, mientras que la segunda está restringida en términos del área mínima promedio de invasión. Temperatura por debajo de 7 y 9 °C (Márquez, 2002).

##### 2.1.1.3. Sistema de suelo con macorilla

Según el análisis de las propiedades físicas y químicas del suelo con *Pteridium aquilinum*, a diferentes profundidades (10 y 30 cm) del suelo, existe una alta



concentración de potasio, y viceversa, nitrógeno y bajo fósforo. En el análisis foliar, el fósforo, manganeso y hierro presentan concentraciones más altas en suelos altamente ácidos. Por otro lado, el contenido crítico de sodio, magnesio, calcio y potasio es bajo; la materia orgánica del suelo es moderada y fuerte. El valor del pH ácido no cambió a diferentes profundidades del suelo. La textura cambia ligeramente de arcilla a marga (Ruiz *et al.*, 2014).

#### **2.1.1.4. Sistema agroforestal con cacao**

Se cree que los sistemas agroforestales con cacao mitigan el cambio climático porque pueden capturar biomasa, organismos muertos y carbono en el suelo (Andrade *et al.*, 2013). El límite de los entornos agroforestales en el almacenamiento de carbono como biomasa son más pronunciadas que las de los productos típicos. Estos marcos, al unir cosechas o árboles de productos orgánicos con especies forestales para aumentar niveles de captura de carbono y mejorar la eficiencia (Lapeyre *et al.*, 2004). Por otra parte, según Larrea (2007), la fijación de carbono para cada sistema agroforestal oscilo entre 0,99 a 8,02 t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>; El sistema más eficiente para el comercio de créditos de carbono es el cacao de 8 años con capirona, bolaina y ocultación de caoba, con un ingreso anual de alrededor de US \$ 150,33 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

#### **2.1.2. Almacenamiento de carbono**

El carbono es el elemento químico básico de los compuestos orgánicos, que circulan por el océano, la atmósfera, el suelo y los humedales; estos se denominan reservas de carbono; el carbono pasa un sedimento a otro mediante procesos químicos, físicos y biológicos. La mayor parte del carbono de la atmósfera se encuentra en forma de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), pero menos carbono en la atmosfera se encuentra en forma de metano (CH<sub>4</sub>), se considera un gas de efecto invernadero y contribuye al equilibrio térmico (Quispe *et al.*, 2015).

Este es el tiempo desde que el carbono constituye cierta estructura de la planta hasta que se transfiere al suelo o la atmósfera, se considera almacenado (Rodríguez *et al.*, 2006).

Según el primer estudio de Andrade *et al.* (2013), las tasas de acumulación de carbono en el suelo fueron altas en las plantaciones jóvenes y disminuyeron con el tiempo; durante los primeros 18 años de producción de cacao, el carbono se secuestró en la hojarasca a una tasa de 0,23 t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, pero esto disminuyó en los siguientes 17 años a 0,02 t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>; Esto indica que una vez que alcanza una acumulación máxima de carbono en la basura, tiende a estabilizarse.

Díaz *et al.* (2007) refiere que en muchos estudios se usó la biomasa arbórea para estimar el contenido de carbono, multiplicando la cantidad disponible en un área determinada por un factor que va de 0,40 a 0,55 (Figueroa *et al.*, 2005).

#### **2.1.2.1. Carbono orgánico del suelo**

El carbono orgánico del suelo (COS) es un componente importante del ciclo del carbono del suelo (Batjes, 1996). Los suelos contienen más carbono que todas las plantas y el aire combinado; como resultado el suelo es el mayor almacén y sumidero de carbono (Swift, 2001). Los suelos pueden almacenar más de tres veces el contenido real de carbono contenido en las plantas, de forma más estable (Stevenson, 1986).

La fijación de carbono es directa al suelo, y se produce mediante reacciones químicas que convierten el CO<sub>2</sub> en compuestos de carbono, como el carbonato de calcio y el carbonato de magnesio. Esto puede ahorrar alrededor de 20 Pg / ha de carbono en 25 años, lo que representa más del 10% de las emisiones humanas (Quiñe, 2009). Por otro lado, Muños (2006) demostró que el contenido de carbono del suelo disminuye con profundidad y el grado de disminución aumenta exponencialmente.

#### **2.1.2.2. Carbono en la raíz**

La raíz es el componente subterráneo del árbol, que sostiene a todas las plantas en el aire y juega un rol importante en la transmisión y almacenamiento de agua y nutrientes (Karizumi, 1974). La biomasa de las raíces es un importante sumidero de carbono. En los bosques tropicales, la cantidad encontrada es de 100 a 630 toneladas / ha, con un promedio de 301,7 toneladas/ha, lo que representa un promedio del 18% de la biomasa total, oscilando entre el 11 y el 54% (Sierra, 2001).

Debido a que los rizomas tienen características muy diferentes en términos de crecimiento, mortalidad y función, se estudiaron con raíces gruesas y raíces finas como grupo (Gill y Jackson 2000). Esta separación se realiza a partir de un determinado diámetro. Pero esta limitación no es muy clara y varía entre diferentes autores. Las raíces clasificadas como raíces gruesas son las responsables del anclaje y soporte estructural de las plantas (Coutts *et al.*, 1999) y proporcionan una red conductora para los materiales absorbidos por las raíces finas. Las finas raíces son las encargadas de absorber y absorber el agua y los nutrientes capturados en la micro ubicación del suelo. Estos constituyen la mayor parte de la longitud y la superficie de la raíz (Morales, 1997).

#### **2.1.2.3. La biomasa en la hojarasca**

La hojarasca es uno de los componentes más considerable y dinámicos del ciclo de nutrientes en los ecosistemas forestales (Attiwill y Adams, 1993) y en

diversos sistemas de uso. Este aspecto es la estabilidad y funcionamiento del ecosistema, porque es la principal fuente de ciclo de materia orgánica, energía y ciclos de nutrientes entre las plantas y el suelo; su contenido esta equilibrado entre acumulación y descomposición (dependiendo de la naturaleza y composición química de la vegetación actual (Sánchez *et al.*, 2009) y los posibles efectos de la temporada (Walker, 2007).

La descomposición de la materia orgánica que cae de los árboles al suelo es una de las principales fuentes de dióxido de carbono y nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo) y provoca un "ciclo de nutrientes" en el sistema suelo-planta. La descomposición es el proceso por el cual la materia orgánica muerta se descompone gradualmente en pequeñas partículas hasta desconocer su composición y las moléculas orgánicas se mineralizan en sus componentes principales: H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> y otros componentes (Cotrufo, 2009).

Todo tiene mayor o menor impacto en la etapa de descomposición de la hojarasca, por tanto, antes del proceso de descomposición y formación de humus, se puede dividir en tres etapas: la primera etapa, el grado de descomposición es bajo, solo se pierden las sustancias solubles, celulosa y hemicelulosa, y las condiciones climáticas y sus efectos sobre nitrógeno, fósforo y potasio El contenido tiene una gran influencia. ; En la segunda etapa, se denomina descomposición de medios, en la cual se reduce la influencia del clima, y el contenido de nitrógeno tiene una gran influencia en la descomposición de la lignina; finalmente, en la tercera etapa, la descomposición alcanza el máximo, en la cual la lignina y el nitrógeno tienen una influencia negativa, y el clima no tiene ningún efecto (Berg y Mcclaugherty, 2003).

## **2.2. Estado del Arte**

### **2.2.1. Antecedentes sobre carbono almacenado**

Lapeyre *et al.* (2004) en su investigación aprendieron sobre el potencial de secuestro de carbono de diferentes sistemas de uso del suelo en la región San Martín-Perú; estos sistemas son: bosques primarios, Bosque seco de diferentes edades, sistemas agrícolas locales de *Zea maiz* (maíz), *Oriza sativa* (arroz), *Brachiaria* sp. (pastos) y sistemas agroforestales, donde *Coffea arabica* (café) está a la sombra y el *Theobroma cacao* (cacao); el contenido total de carbono del bosque principal es de 485 t C ha<sup>-1</sup>, que es relativo al Bosque seco en 50 años de Bosque seco(en 234 t C ha<sup>-1</sup>), más del 50% de los bosques han perdido reservas y 20 años de bosques han perdido más del 80% de sus reservas (62 t C ha<sup>-1</sup>). En este caso, el nivel de almacenamiento de carbono en la biomasa residual del sistema forestal no es importante en comparación con el almacenamiento total de carbono en la biomasa aérea; sin

embargo, es de gran importancia para el sistema agroforestal. Dependiendo del número de especies forestales, tipos de cultivos, edades y tipos de suelo, el sistema agroforestal tiene un secuestro entre 19 y 47 t C ha<sup>-1</sup>, y el potencial de captura se recupera de manera productiva; el sistema agrícola casi no tiene carbón (5 t C ha<sup>-1</sup>).

Connolly y Corea (2007) en su investigación los objetivos fueron cuantificar la captura y almacenamiento de carbono en sistemas forestales tropicales y subtropicales en seis ubicaciones en cuatro ciudades de Nicaragua. Informaron que, entre los sistemas estudiados, las plantaciones de pino tuvieron las mayores emisiones fijas de carbono (211,82 tC / ha), seguido del sistema cafetero forestal ecológico, con secuestro de carbono de 163,88 tC / ha, seguido de 153,72 tC / ha, y finalmente 105,74 tC / ha de Bosque seco bajo manejo de regeneración natural. Las fuentes de suelo representaron del 76,07 al 87,12% del carbono almacenado en el sistema, seguido por el radiocarbono, del 10,36 al 21,06%, la biomasa de las raíces, del 1,45 al 3,00%, y finalmente la hojarasca y el pasto, del 0,46 al 1,75%.

Bringas (2010) los objetivos de su investigación fueron comparativos entre almacenamiento de carbono de diferentes componentes de SAF cacao + laurisilva y bosques secundarios, he determinado que el aporte de carbono proveniente de fuentes de biomasa no leñosa (arbustos, hierbas y hojas) es pequeña; adecuada para cacao + bosques de laurisilva Sistema 0,53, 1,73, 0,96 y 2,83, 5,14, 2,64 t ha<sup>-1</sup> o superior, la biomasa arbórea es de 46,98, 62,59 y 79,98 te ha<sup>-1</sup>; en el bosque secundario es de 0,85 a los 9, 10 y 11 años respectivamente, 0,17, 0,41 y 5,24 , 5.29, 6.93 t ha<sup>-1</sup> y la biomasa arbórea fue 21,62, 69,35 y 94,75 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Al comparar el almacenamiento total de carbono del sistema agroforestal de cacao + laurel -86- en relación con los bosques secundarios en la prueba T, son 114,51, 137,42, 152,34 y 110,56, 163,80 y 198,25 toneladas/ha, respectivamente; muestra que SAF tiene la misma cantidad de plantas y biomasa total. No hay diferencia estadística en bosque secundario; en la composición del suelo, la diferencia entre los diferentes sistemas es diferente a las edades de 9, 10 y 11. La contribución promedio del bosque secundario y del suelo SAF al carbono total es de 53,1% y 44,2%.

Trellez (2012) en su investigación los objetivos fueron evaluar y estimar el almacenamiento de carbono total de la biomasa radicular del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) a diferentes edades (1, 3 y 5 años), determinando que el almacenamiento de carbono orgánico de la biomasa radicular fue de 0,51 ton/ha hasta 2,85 toneladas /ha.

Quispe *et al.* (2015) en su investigación los objetivos fueron determinar la capacidad de acumular carbono de tres especies como pastos naturales de la subcuenca del

Canipaco, Huancayo; la cual como resultado presentaron: para la especie *Calamagrostis vicunarum* un promedio de carbono almacenado de 0,754 t C/ha (siendo 0,522 t en aérea y 0,232 t en la raíz), para *Festuca dolichophylla* un promedio de 1,638 t C/ha (siendo 1,323 t en aéreo y 0,313 t en la raíz) y para *Muhlenbergia ligularis* un promedio de 0,743 t C/ha (siendo 0,455 t en aéreo y 0,288 t en la raíz).

En Tingo María, Timoteo *et al.* (2016) el objetivo fue calcular la cantidad de carbono en el suelo y la masa radioactiva de tres sistemas agroforestales durante el primer año de instalación: los sistemas agroforestales (SAF) fueron conformados: para SAF<sub>1</sub> fueron la especie *Guazuma crinita*, *Inga edulis*, *Theobroma cacao* y *Cajanus cajan*; para SAF<sub>2</sub> fueron *Schizolobium amazonicum*, *Theobroma cacao* y *Cajanus cajan* y para SAF<sub>3</sub> fueron la especie *Leucaena leucocephala*, *Theobroma cacao* y *Cajanus cajan*. Los resultados mostraron una acumulación de carbono en la biomasa y necromasa aérea de 9,44 t.C ha<sup>-1</sup> en SAF<sub>1</sub>, 11,40 t.C ha<sup>-1</sup> en SAF<sub>2</sub> y 11,37 t.C ha<sup>-1</sup> en SAF<sub>3</sub>; y en el suelo de 23,98 t.C ha<sup>-1</sup> en SAF<sub>1</sub>, 25,39 t.C ha<sup>-1</sup> en SAF<sub>2</sub> y 25,83 t.C ha<sup>-1</sup> en SAF<sub>3</sub>; el carbono orgánico en el suelo representa casi el 60% del carbono total almacenado en estos sistemas agroforestales y es notable resaltar que incrementa durante el primer año de la plantación.

Pocomucha *et al.* (2016) en su investigación los objetivos fueron evaluar el carbono acumulado en el sistema agroforestal cacao Aucayacu (*Theobroma cacao* L.). Las plantaciones de cacao tuvieron un promedio de cuatro parcelas con 69 árboles ha<sup>-1</sup>. El carbono promedio acumulado en la plantación de cacao fue de 131,18 t C ha<sup>-1</sup> (la biomasa aérea de 65,61 t y la biomasa del suelo 65,57 t).

### **2.2.2. Antecedentes sobre *Theobroma cacao* (cacao)**

Arvelo *et al.*, (2017) consideran que, el Perú está clasificado según el Convenio Internacional del Cacao 2010 de la ICCO, como el segundo país productor y exportador de cacao fino después de Ecuador. Es por este motivo que, empresas chocolateras de todo el mundo viajan desde hace años al país para firmar contratos directamente con los productores de cacao, permitiendo al agricultor tomar conciencia en mejorar sus buenas prácticas agrícolas y manufactureras en toda la cadena de valor, y ofrecer un producto de calidad. Según el Ministerio de Agricultura y Riego del Perú. (MINAGRI), alrededor del 44% de la producción corresponde a cacao fino (Criollo+Nativo) y el 56% de la producción es cacao corriente o común (CCN-51+Forastero).

### **2.2.3. Antecedentes sobre *Brachiaria brizantha* (pasto mejorado)**

Cuestas y Pérez (1987) afirman que *Brachiaria brizantha* (Richard) Stapf cv Marandú ha sido introducida exitosamente en los bosques peruanos (Alta y Baja) desde

1986, originaria de la región volcánica de África, caracterizada por poseer suelos fértiles, con una precipitación anual de 4 700 mm y una estación seca de 8 meses, crece en espigas abiertas cuando alcanzan su máximo desarrollo protegen totalmente los espacios aéreos entre plantas, con poco o ningún pelo en las hojas. Se adhieren a diferentes tipos de suelo y clima. Crece muy bien en suelos de fertilidad mediana. Tolera la sequía prolongada, pero no tolera la humedad durante más de 30 días, tiene buena resistencia al pastoreo y compite con las malezas. Se asocia bien con leguminosas como maní forrajero.

#### **2.2.4. Antecedentes sobre *Pteridium aquilinum* (macorilla)**

Para Gliessman (1976), es una de las plantas más comunes en la tierra. El *Pteridium aquilinum*, representa una amenaza potencial para la agricultura, debido a sus propiedades competitivas y alelopáticas, invade terrenos agrícolas y reduce progresivamente la superficie utilizable o útil para los animales y los resultados.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

##### 3.1.1. Ubicación política

Los predios están ubicados en los caseríos de Pucayacu y Nueva Esperanza, ambos pertenecientes al distrito de Uchiza, provincia de Tocache, región San Martín.

##### 3.1.2. Ubicación geográfica

Geográficamente, el distrito de Uchiza se localiza en las coordenadas 8°27'33" de latitud Sur y 76°27'48" longitud Oeste.

**Tabla 1.** Coordenadas de los sistemas de uso del suelo y el laboratorio.

Actividad	Sistemas de uso del suelo	Coordenadas UTM		Altitud (msnm)	Área Ha
		E	N		
Campo	Macorilla	337992	9059447	608	3
	Cacao	338746	9059405	608	2
	Pastizal	340671	9065004	607	4
Laboratorio	Laboratorio de suelos - UNAS	390254	8970735	660	



**Figura 1.** Ubicación de la parcela de macorilla y cacao.

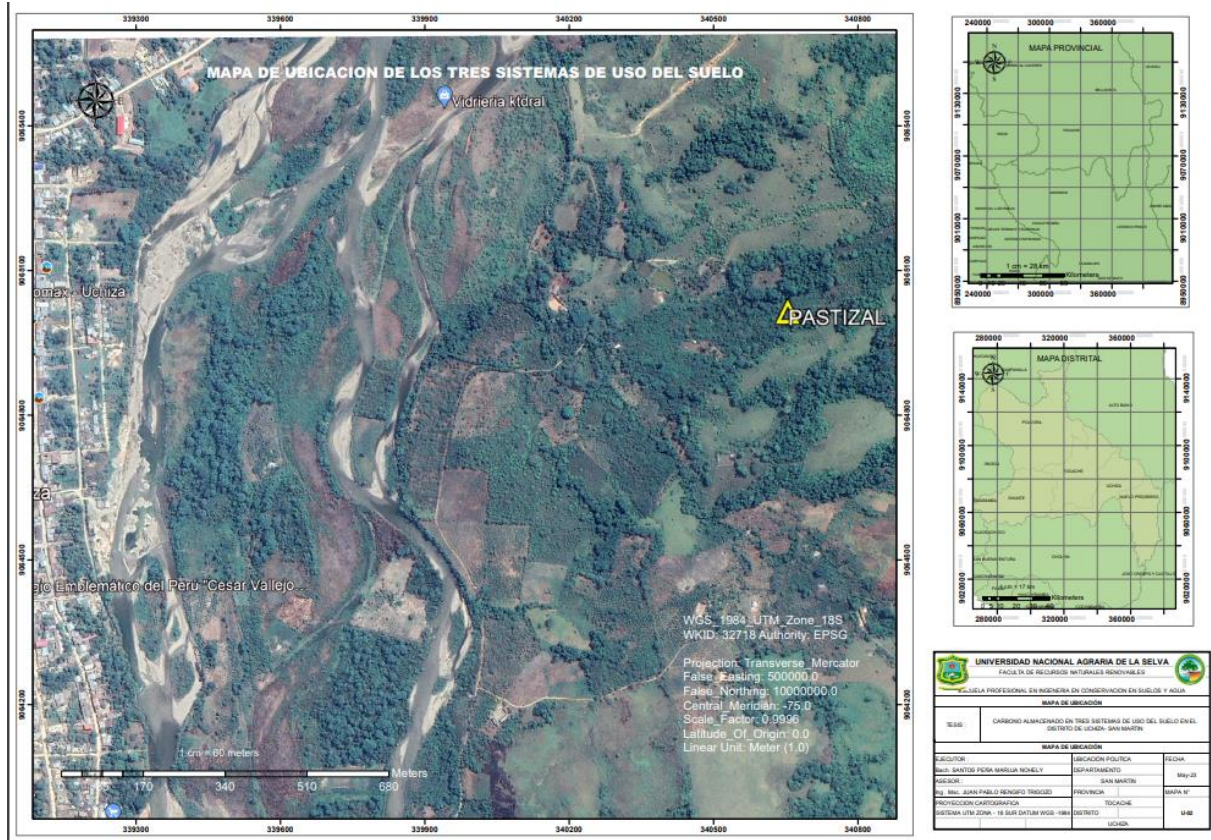


Figura 2. Ubicación de la parcela pastizal.

### 3.1.3. Zonas de vida

La zona de vida según las formaciones ecológicas y el diagrama bioclimático de Holdridge (1987) pertenece a un bosque seco Premontano Tropical (bs – PT).

### 3.1.4. Flora silvestre

En este aspecto en las zonas aledañas al área considerada en estudio, se registra una gran cantidad de especies vegetales cuyos usos en la zona son medicinales y maderables, entre ellos se tiene a las especies de: *Croton lechleri* “sangre de grado”, *Phyllanthus niruri* “chanca piedra”, *Buddleja globosa* “matico”, *Cedrelinga cateniformis* “tornillo”, *Schizolobium amazonicum* “pino chuncho”, *Colubrina glandulosa* “shaina”, etc.

### 3.1.5. Fauna silvestre

*Agouti paca* “picuro”, Serpentes “serpientes”, *Leopardus tigrinus* “tigrillo”, Anura “rana”, Bufonidae “sapo”, *Dasyprocta punctata* “añuje” y *Didelphimorphia* “carachupa”.

### 3.1.6. Suelos

Los suelos del área de estudio son principalmente residuales y coluviales, cuyo material parental está conformado por rocas calizas y dolomíticas en algunos sectores y



suelos arcillosos de lutitas en otros sectores, que son algo duros y densos, de difícil manejo en verano por presentar agregados firmes y duros, en cambio, la mayoría de los suelos, presentan agregados friables especialmente en la capa superficial o primer horizonte. En cuanto a la textura encontramos las más resaltantes las clases texturales franco arcilloso, franco arenoso, con buen porcentaje de porosidad y distribución de raíces abundantes finas y medias en los primeros horizontes.

El pH del suelo se encuentra en niveles que van de muy ácidos a moderadamente ácidos; con respecto a la capacidad de intercambio catiónico se encuentran con niveles bajos; de igual forma el porcentaje de acidez cambiante es alto, esto se debe al producto de alta concentración de aluminio en los suelos, por lo que será necesario manejar estos suelos con aplicaciones de cal y/o dolomita y el uso de la roca fosfórica (Proyecto Especial Alto Huallaga [PEAH], 2014).

### **3.1.7. Clima**

El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología – San Martín (SENAMHI – San Martín, 2019) reporta una precipitación promedio anual de 2 964,64 mm/año. Las lluvias comienzan del mes de octubre hasta abril y avanzan en el mes de mayo a setiembre y periodos de estiaje corto de junio a agosto. Las precipitaciones más intensas se producen de diciembre a febrero, con precipitaciones superiores a 300 mm/mes. La precipitación menor se registra en el mes de agosto con 82 mm/mes. Así mismo presenta una temperatura media anual de 24,6 °C, la más alta temperatura se registra en el mes de noviembre con 25,6 °C y la más baja en el mes de junio con 22,6 °C respectivamente.

La humedad relativa promedio anual es de 70,1%, registrada en la Estación Meteorológica de Tocache (EMT, 2018).

### **3.1.8. Vías de acceso**

La zona de estudio es accesible es por la carretera Fernando Belaunde Terry, la distancia desde la ciudad de Tingo María al distrito de Uchiza es de 150 Km a 2 horas con 30 minutos en transporte terrestre y desde ahí a los caseríos de trabajo es con un tiempo de recorrido de 30 minutos en transporte terrestre.

### **3.1.9. Características de los sistemas**

#### **3.1.9.1. Sistema de uso *Theobroma cacao* (cacao)**

El predio con cultivo de *Theobroma cacao* “cacao”, presenta un área 2,00 ha de 8 años, en producción y con distanciamiento de 3,00 m x 3,00 m, con una pendiente de 6% y una fisiografía de terraza plana no inundable y pertenece al Sr. Yilmer

Segundo Montalvo Sánchez, se encuentra ubicada a 7 Km del distrito de Uchiza el caserío de Pucayacu.

### **3.1.9.2. Sistema de uso *Pteridium aquilinum* (macorilla)**

El área con *Pteridium aquilinum* “macorilla” presenta una extensión de 3,00 ha, fue un ex cocal con una pendiente de 20% con una fisiografía de colina baja perteneciente al Sr. Yilmer Segundo Montalvo Sánchez, ubicada a 7 Km del caserío de Pucayaco perteneciente al distrito de Uchiza.

### **3.1.9.3. Sistema de uso *Brachiaria brizantha* (pasto mejorado)**

El predio con *Brachiaria brizantha* “pasto mejorado”, presenta una extensión de 4 ha, sirve como alimento para el ganado vacuno del propietario se encuentra ubicada a 2 km del caserío de Nueva Esperanza y a 8.00 km del casco urbano del distrito de Uchiza y cuyo propietario es el Sr. Zenobio Cortez Ríos.

## **3.2. Materiales y equipos**

### **3.2.1. Materiales**

Los materiales utilizados fueron, tableros para facilitar el registro de datos, notas, torno de 5 m, una cinta métrica de 50 m, escuadra de madera de 0,5 m x 0,5 m, cuadrante de madera de 1,0 m x 1,0 m, sobre manila, bolsas plásticas, machete, afilador o lima, cilindro metálico (ulhand) y barreno.

### **3.2.2. Equipos**

En la investigación los equipos utilizados fueron, cámara fotográfica, laptop, calculadora, horno eléctrico, balanza de precisión, sistema de navegación GPS (Global Positioning System) y brújula.

## **3.3. Generalidades de la investigación**

### **3.3.1. Tipo de estudio**

Según la intervención Supo (2014) la falta de intervención demuestra que el estudio es observacional, porque los sistemas de uso del suelo ya están establecidos por los propietarios de las parcelas; mientras que considerando el número de mediciones de las variables es de tipo transversal, se obtendrá los resultados con una sola observación (medición de las variables relacionadas a la cantidad de carbono que se encuentran almacenadas tanto en la parte aérea y el sistema radicular).

### **3.3.2. Nivel de estudio**

Este estudio pertenece a la era tecnológica (Supo, 2014) por que recopiló muestras de los sistemas de uso y analizaron los resultados mediante la estadística descriptiva.

### 3.3.3. Variables en estudio

En la investigación se consideraron las siguientes variables dependientes e independientes:

**a) Variable dependiente (Y) = Sistemas de uso del suelo**

**Indicadores Y = Tipos de sistemas del suelo**

$Y_1$  = SU *Theobroma cacao* L “cacao”

$Y_2$  = SU *Pteridium aquilinum* “macorilla” excocal

$Y_3$  = SU *Brachiaria brizantha* “pasto mejorado”

**b) Variable independiente (X) = Propiedades físicas y químicas del suelo**

$X_1$  = Físicas

$X_2$  = Químicas

**Indicadores X = Carbono almacenado en el suelo**

$X_1$  = Suelo

$X_2$  = Hojarasca

$X_3$  = Raíces

### 3.3.4. Operacionalización de variables

Las variables evaluadas en la investigación estuvieron desglosadas de la siguiente manera:

**Tabla 2.** Variables en estudio.

	Variable	Dimensiones	Indicadores	Índices
Variable dependiente	Sistemas de uso del suelo	Tipos de sistemas	<i>Theobroma cacao</i> L “cacao”	ha
			<i>Pteridium aquilinum</i> “macorilla”Excocal	ha
			<i>Brachiaria brizantha</i> “pasto mejorado”	ha
Variable independiente	Propiedades físicas y químicas	Físicas	Textura	Granulometría
			Densidad Aparente	g/cm <sup>3</sup>
			MO	%
			N	%
Variable interviniente	Indicadores de Variables	Carbono almacenado del suelo	Carbono del suelo	
			Carbono de la hojarasca	Kg (m <sup>2</sup> )
			Carbono de las Raíces	

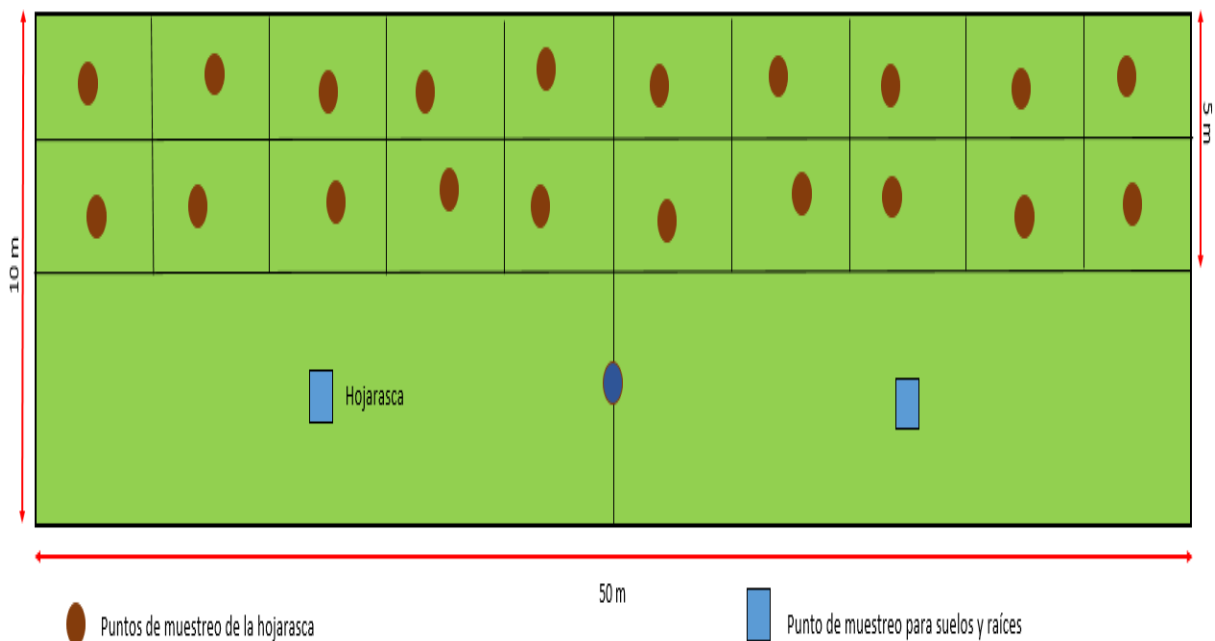
### 3.4. Metodología

#### 3.4.1. Estimación del carbono en el suelo y biomasa radicular de los tres sistemas de uso del suelo con *Theobroma cacao* “cacao”, *Pteridium aquilinum* “macorilla” y *Brachiaria brizantha* “pasto mejorado” en el distrito Uchiza - región San Martín

El Centro Internacional de Investigación Agroforestal (ICRAF, 2009) informo el desarrollo de métodos de detección de carbono en tres sistemas de *Theobroma cacao* (cacao), *Pteridium aquilinum* (macorilla) y en pastizales, con actividades de seguimiento.

##### 3.4.1.1. Tamaño y toma de muestras

El espacio muestral se determina mediante un diseño de muestreo aleatorio estratificado, donde se supone que los sistemas de uso del suelo están estratificados con tres (3) parcelas rectangulares con un área de 500 m<sup>2</sup> (10 m x 50 m) para cada sistema de uso del suelo modificado en base al reporte de Galicia *et al.* (2015), dentro de dichas parcelas se estableció una subparcela de 50 m x 5 m (250 m<sup>2</sup>) que fueron divididos en áreas de 12,5 m<sup>2</sup> (5,0 m x 2,5 m) que corresponden para el muestreo de hojarasca (Dicken, 1997).



**Figura 3.** Parcelas y subparcelas utilizadas para el muestreo de suelos, hojarasca y raíces en el sistema de uso de suelo en estudio.

Se asignaron aleatoriamente dos subparcelas de 10 m x 25 m con dos (2) subparcelas con un área de 1.0 m<sup>2</sup> (1,0 m x 1,0 m) para muestrear el carbono orgánico del suelo y las raíces. El muestreo se realizó considerando lo descrito por Arévalo *et al.* (2003), consistiendo el muestro hasta una profundidad de 30 cm debajo de la superficie del terreno,

dichos muestreo estuvieron distribuidos en rangos comprendidos entre 0 a 10 cm, 10 a 20 cm y 20 a 30 cm. La figura 3 muestra parcelas y subparcelas de las muestras de suelo, hojarasca y raíces investigadas.

#### 3.4.1.2. Muestreo de suelos

En cada parcela de 10 x 50 m se seleccionó al azar dos (2) subparcelas de área 1,0 m<sup>2</sup> (1,0 m x 1,0 m) en donde se ejecutó cuatro calicatas cuyas dimensiones fueron de 0,30 m de longitud, 0,30 m de ancho y 0,30 m de profundidad (0,027 m<sup>3</sup>), en ello se identificó tres profundidades de muestreo a realizar que consistió en los siguientes rangos: 0,0 a 0,1 m, 0,1 a 0,2 m, 0,2 a 0,3 m de los cuales se obtuvo las muestras de suelo se tomaron de acuerdo con el protocolo que se muestra en la figura 4. El muestreo de suelos para el carbono edáfico se realizó cercano a los tres vértices del cuadrante de 1,0 m<sup>2</sup>, mientras que cercano al cuarto vértice se dejó ubicado un punto para el muestreo de la densidad aparente. Se informó que para cada rango de profundidad aproximadamente 500 g de tierra con el instrumento barreno como lo reporta el International Center for Research in Agroforestry (ICRAF, 2009).



**Figura 4.** Protocolos de muestreo de suelos y la densidad aparente.

Después de obtener muestras de suelo de diferentes sistemas de uso de la tierra, éstas fueron colocadas en bolsas de polietileno y se les añadió unos códigos con plumón indeleble, rotulándose el sistema de uso del suelo a la que pertenece, el número de la

parcela de dicho sistema y la profundidad de muestreo, posteriormente una vez recolectadas todas las muestras de suelo de los sistemas, estas se colocaron en un costal y fueron transportadas hacia el laboratorio de Suelos de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua que se utiliza para la determinar el contenido orgánico del suelo y la cuantificar el carbono orgánico del suelo (COS).

#### **3.4.1.3. Muestreo para la densidad aparente**

Se aplican consideraciones similares al muestreo de carbono orgánico del suelo (mismas parcelas y profundidades de muestreo). Se utilizó un punto cercano a un vértice del cuadrante de 1,0 m x 1,0 m (cuarto vértice), se insertó un cilindro de volumen conocido y retirar el cilindro lleno tierra, se depositó en bolsas de polietileno, fueron codificadas en un papel el cual también se colocaron dentro de la bolsa para que finalmente sean trasladadas al laboratorio para su proceso respectivo (Dicken, 1997).

#### **3.4.1.4. Muestreo de las raíces**

En caso del muestreo de carbono almacenado en las raíces de cada sistema de uso del suelo, se utilizó la metodología considerada por el International Center for Research in Agroforestry (ICRAF, 2009). En la calicata realizada cuyas dimensiones seran de 0,30 x 0,30 x 0,30 m de hondo, se realizó un muestreo de suelos con raíces empleando un barreno, en ello se tuvo en consideración los rangos de profundidades consideradas anteriormente: 0 a 0,1 m, 0,1 a 0,2 m, 0,2 a 0,3 m, la muestra obtenida se coloca en una bolsa de polietileno para su uso posterior y ser trasladadas al laboratorio con la finalidad de procesarlos adecuadamente.

#### **3.4.1.5. Obtención del contenido de carbono orgánico almacenado en el suelo**

Las muestras de suelo se orearon sin recibir directamente los rayos solares, por un tiempo de tres a cinco días, posteriormente mediante el método de Walkley y Black (1938) se determinó un cierto porcentaje de materia.

El siguiente método sugerido se utiliza para obtener la densidad aparente propuesta por el International Center for Research in Agroforestry (ICRAF, 2009), el cual consiste en colocar las muestras de suelos en la estufa y se secaron a una temperatura constante de aire caliente de 70 °C, hasta obtener un peso seco constante que generalmente alcanza este valor después de 72 horas de secado. Luego se extrajo las muestras y se colocó en un desecador hasta que se enfríe y posteriormente fue pesada la muestra mediante el uso de una balanza de precisión (0,001 g). Esta actividad se realizó en el laboratorio de Suelos de la Escuela Profesional.

#### **3.4.1.6. Determinación de la biomasa de las raíces**

Considerando los criterios reportados por el International Center for Research in Agroforestry (ICRAF, 2009), se realizó una separación del suelo, algunas piedras en caso de encontrarse y las raíces todos que se encontraran en la muestra extraída de campo, todo ello se logró por medio de un lavado y tamizado, debido a que se otorgó prioridad a las raíces que hay en ello. Estas raíces una vez separadas fueron secadas empleando papel toalla y pesados en balanzas de precisión con la finalidad de obtener el peso húmedo, luego estas muestras fueron envueltas en papel periódico para ser llevadas a estufa a una temperatura constante de 70 °C durante 48 horas. La muestra debió registrar un peso constante incluido el papel periódico, luego se realizó el nuevo pesaje para obtener el valor de la biomasa siempre teniendo en consideración restarle el peso del periódico.

#### **3.4.2. Estimación de carbono en la biomasa herbácea y hojarasca en los tres sistemas de uso del suelo con *Theobroma cacao* “cacao”, *Pteridium aquilinum* “macorilla” y *Brachiaria brizantha* “pasto mejorado” en el distrito Uchiza - región San Martín**

El contenido del carbono en la superficie o en el aire del sistema aprovechado esta relacionado con la suma del componente de la biomasa de la capa herbácea (pastos, leguminosas, arvenses) y biomasa de la hojarasca (o material necrótico), realizando para ello lo siguiente:

##### **3.4.2.1. Muestreo de biomasa herbácea**

Utilice un cuadrante de madera de 1 m. x 1 m, seleccione aleatoriamente puntos de muestreo en cada submuestra en la submuestra de 5 x 5 m. En estas submuestras, utilizamos tijeras de podar para recolectar toda la biomasa herbácea presente en el suelo (dos (2) cm sobre el suelo) y registrada como materia verde (MV). Se usó una balanza de reloj con un aforo de 10 kg para pesar la biomasa fresca de cada submuestra en el sitio. Los componentes herbáceos en cada parcela (sistema) tuvieron 10 repeticiones.

##### **3.4.2.2. Muestreo de hojarasca**

En la determinación cuantitativa se tuvieron en cuenta hojas, flores, frutos, semillas y sus fragmentos, ramas y restos de material leñoso menores a 2 cm de largo. Para esta actividad, se utilizó un cuadrante de madera cuyas dimensiones fueron de 0,5 x 0,5 m (0,25 m<sup>2</sup>), en total se lanzaron 20 veces el cuadrante de madera en la subparcela de 10 m x 50 m, cada lanzamiento tuvo que caer en las subparcelas elaboradas de 5 x 5 m; una vez lanzada el cuadrante, se juntó toda la hojarasca enmarcada por el cuadrante y se registró el peso fresco total por cada 0,25 m<sup>2</sup>, en caso de que el peso de la muestra fuera superior a los 200 g,

se anotó el peso total y se separó una submuestra de solo 200 g que se colocó finalmente en una bolsa de polietileno con su codificación respectiva y se le trasladó al laboratorio para su respectivo proceso de secado y la obtención del peso seco (Dicken, 1997).

#### **3.4.2.3. Adquisición de datos de carbono en hojarasca**

La hojarasca recolectada que en su mayoría presentó valores muy cercanos a los 200 g fueron rotulados con papel periódico y se procedió a determinar el peso húmedo de la muestra, luego se colocó en una estufa que estuvo encendida a una temperatura de 70 °C, en ello las muestras permanecieron por un lapso de 48 horas hasta que la muestra alcance un peso seco constante.

Una vez la muestra de hojarasca seca se volvió a pesar en una balanza de precisión y luego se pesó por separado el peso del papel con la finalidad de obtener el peso seco de la hojarasca por diferencia (ICRAF, 2009).

### **3.4.3. Estimación del carbono global almacenado en los tres sistemas de uso de suelo con *Theobroma cacao* “cacao”, *Pteridium aquilinum* “macorilla” y *Brachiaria brizantha* “pasto mejorado” en el distrito Uchiza - región San Martín**

#### **3.4.3.1. Cálculo del carbono orgánico del suelo**

Para calcular el carbono orgánico que se almacena en el suelo, la fórmula propuesta por Walkley y Black (1938), es:

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

Donde:

COS: carbono orgánico del suelo (t/ha),

El %CO según Walkley y Black (1938), se obtiene de multiplicar la constante 0,58 por %MO, la Da representa a la densidad volumétrica ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) y Ps es la profundidad del suelo (cm) que se realizó el muestreo. El contenido de carbono se informa en kg/ha y se convierte a t/ha para su análisis.

#### **3.4.3.2. Cálculo de la densidad aparente**

Para calcular el volumen y la densidad volumétrica de un cilindro se utiliza el método propuesto por Dicken (1997), siendo esto.

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

$$\text{Da} = \text{Ms}/V$$



Donde:

V : Volumen

$\pi$  : 3,1416, valor continuo

r : Radio del cilindro

h: Altura del cilindro

Da: Densidad volumétrica

Ms : Materia seca

### 3.4.3.3. Cálculo del carbono almacenado en biomasa herbácea

Para definir la materia seca (Ms), se colocan muestras de biomasa de hierbas (aproximadamente 200 gramos) en una bolsa codificadora. En el laboratorio del rancho, las submuestras se pesaron usando una balanza digital, se colocaron en bolsas de papel codificadas y se colocaron en una estufa a 70°C durante tres días hasta obtener un peso seco constante. Pesar las submuestras secas con la misma balanza digital para determinar el porcentaje de materia seca en cada submuestra. Luego se determina la biomasa por metro cuadrado de materia seca utilizando regla de tres simple y se extrapola a toneladas por hectárea (t/ha).

$$\%Ms = (Ms_{\text{submuestra}} / Mv_{\text{submuestra}}) \times 100$$

Donde:

%Ms : Materia seca (valor en%)

$Ms_{\text{submuestra}}$  : Submuestra deshidratada (kg)

$Mv_{\text{submuestra}}$  : Submuestra deshidratada (Kg)

100 : Factor para obtención del porcentaje

$$\text{Biomasa herbácea (t/ha)} = MVH_{\text{muestra}} \times (\%Ms) \times 10$$

Dónde:

Biomasa herbácea (t/ha) : biomasa herbácea (materia seca)

$MVH_{\text{muestra}}$  : Materia verde herbácea expresada en  $\text{kg/m}^2$

%Ms : Porcentaje de la materia deshidratada de la muestra.

10 : Factor para transformar  $\text{kg/m}^2$  a t/ha.

### 3.4.3.4. Cálculo del carbono almacenado en hojarasca

Se consideró el método propuesto por el ICRAF (2009), siendo esto:

$$\text{Biomasa} = \text{Peso húmedo} - \text{peso seco}$$

$$CH = \text{Biomasa (t/ha)} \times 0,50$$

Donde:

- CH : Carbono en hojarasca  
 0,50 : valor dado por el I.P.C.C (2007)

### 3.4.3.5. Cálculo del carbono almacenado en raíces

Se tomó la fórmula propuesta por el I.C.R.A.F (2009):

$$\text{Biomasa} = \text{Peso húmedo} - \text{peso seco}$$

$$\text{CR} = \text{Biomasa (t/ha)} \times 0.50$$

En que:

- CR : Carbono radicular  
 0,50 : valor dado por el I.P.C.C (2007)

### 3.4.4. Análisis de los datos

Los datos fueron analizados mediante el uso de la estadística descriptiva, el cual los datos cuantitativos se traducirán en cuadros que contengan:

- Cantidad
- Mínimo
- Máximo
- Media
- Desviación estándar
- Coeficiente de variación.

Con el propósito de realizar comparaciones entre el contenido de carbono en los sistemas de uso del suelo se utilizó la herramienta estadística denominada análisis de la varianza (Tabla 3) y si se encontraban diferencias significativas, se hizo comparación de medias mediante la prueba de Tukey, con un nivel de confianza del 95%.

**Tabla 3.** Esquema del ANVA.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Calculado
Tratamiento	(t-1)	SCtrat	CMtrat	CMtra/CMee
Error experimental	(r-1)(t-1)	SCee	CMee	
TOTAL	tr-1	SCtotal		

t: tratamientos, r: repeticiones, SC: Suma de cuadrados, CM: Cuadrado medio

Después del procesamiento de datos, prepare e interprete tablas y figuras para una mayor preparación del informe final de trabajo.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Posterior a la obtención y procesamiento de datos obtenidos referente al almacenamiento de carbono orgánico en el suelo y biomasa radicular, se condujo a detallar las medidas de resumen a través de la estadística descriptiva, análisis de la varianza y posterior comparación entre los promedios de carbono en los sistemas de uso del suelo con macorilla, pastura, sistema agroforestal cacao (SAF).

### 4.1. Carbono orgánico acumulado en el suelo y biomasa radicular de los sistemas de uso del suelo con *Theobroma cacao* “cacao”, *Pteridium aquilinum* “macorilla” y *Brachiaria brizantha* “pasto mejorado” en el distrito Uchiza - región San Martín

#### 4.1.1. Carbono orgánico en el suelo

La Tabla 4 proporciona una descripción general de las observaciones sobre la acumulación de carbono orgánico en suelos que utilizan sistemas agroforestales de macorilla, pastos y cacao (SAF). Las existencias de carbono en el sistema de uso con macorilla, muestra un rango de 13,95 t/ha a 14,80 t/ha, una media de 14,36 t/ha, con una mediana 14,34 t/ha, lo que confirma la baja tendencia media de la muestra.

Siendo corroborada por la desviación estándar (0,43%) de las cantidades de almacenamiento de carbono. Asimismo, el comportamiento anterior se repite para los valores de los sistemas de uso con pastura y SAF.

**Tabla 4.** Resumen de observaciones del carbono orgánico del suelo acumulado en diferentes sistemas de suelo.

Resumen	Sistema de uso		
	Macorilla	Pastura	SAF
n	3,00	3,00	3,00
Media (t/ha)	14,36	20,11	26,09
Mediana	14,34	20,11	20,18
D. estándar	0,43	2,30	2,45
Var. (n-1)	0,18	5,27	6,03
E. estándar	0,25	1,33	1,42
C. variación (%)	2,96	11,42	9,41
Q1 (t/ha)	13,95	17,78	24,12
Q2 (t/ha)	14,80	22,37	28,84

Para el ANOVA, existió diferencia significativa entre promedios de acumulación de carbono en el suelo de los sistemas de uso.

**Tabla 5.** Evaluación de varianza (ANOVA) para variable carbono orgánico almacenado del suelo de diferentes sistemas de uso.

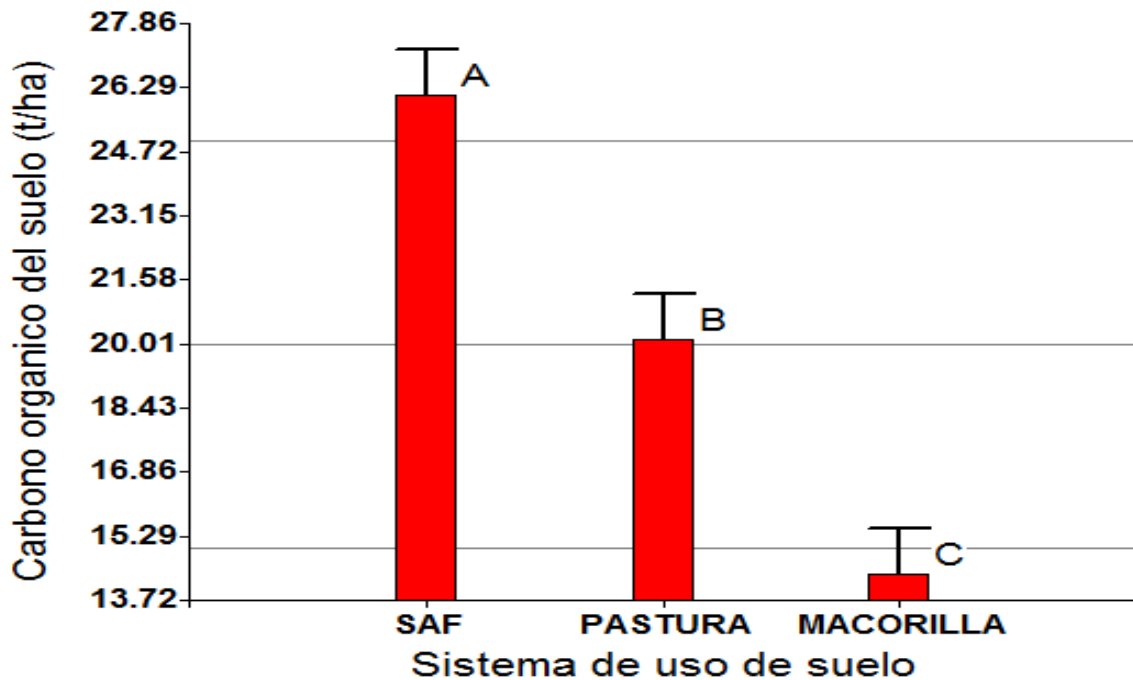
<b>Fuente de variación</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>Fc</b>	<b>Sig</b>
Sistema de uso	2	206,30	29 755,9	26,96	0,0010 **
Error	6	22,96	3,83		
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>229,25</b>			

CV (%): 9,69%; \*\*: = altamente significativo; n.s. = no significativo

Existió alta diferencia significativa entre los promedios de acumulación de carbono almacenando en el suelo de sistemas de uso (Tabla 6). El sistema agroforestal obtuvo mayor almacenamiento (26,09 t/ha) de carbono, seguido por el sistema con pastura (20,11 t/ha). Siendo el sistema con macorilla el que mostró menor almacenamiento (14,36 t/ha). Este comportamiento está relacionado con la putrefacción de la materia orgánica del suelo en términos de cantidad, porque esta vía es una de las fuentes más importantes de carbono orgánico y nutrientes del suelo (Cotrufo, 2009). Es preciso recalcar que, a diferencia del sistema agroforestal de cacao, el cual se caracteriza por presentar mayor expansión de raíces finas y gruesa, mayor aporte de material orgánico y la creación de un microclima bajo la copa de los árboles asociados, los sistemas con macorilla y pastura no presenta las mismas características, por tener especies vegetales de pequeña profundidad radicular, elevada concentración de la temperatura y susceptible a sufrir de erosión hídrica a consecuencia de la morfologías de la mayoría de los terrenos de los caseríos Pucayacu y Nueva Esperanza del distrito de Uchiza. Por lo tanto, el contenido de carbono del suelo disminuye exponencialmente con la profundidad (Muños, 2006).

**Tabla 6.** Promedio de carbono orgánico almacenado en diferentes sistemas de uso (t/ha).

<b>Sistema de uso</b>	<b>Promedio</b>	<b>Significancia</b>
SAF	26,09 ± 1,42	a
Pastura	20,11 ± 1,33	b
Macorilla	14,36 ± 0,25	c



**Figura 5.** Carbono orgánico promedio almacenado por diferentes sistemas de uso de suelo.

#### 4.1.2. Carbono orgánico en la biomasa radicular

La Tabla 7, muestra un resumen de datos de observación sobre la acumulación de carbono en la biomasa de raíces de sistemas de utilización que incluyen sistemas agroforestales (SAF) de macorilla, pastura y cacao.

La reserva de carbono en el sistema de uso con macorilla muestra un rango de 5,56 t/ha a 6,67 t/ha, una media de 6,03 t/ha, con una mediana 5,85 t/ha, lo que confirma tendencia promedio hacia valores bajos en todas las muestras. Siendo corroborada por la desviación estándar (0,43%) y coeficiente de variación (9,55%) de las cantidades de almacenamiento de carbono. Por otra parte, de la descripción de valores de las provisiones de carbono del sistema con pasto, muestra un rango de 2,00 t/ha a 2,19 t/ha, una media de 2,13 t/ha, con una mediana 2,19 t/ha, lo que confirma que la muestra tiende a ser mayor, significa una tendencia. Sin embargo, la desviación estándar (0,11%) y coeficiente de variación (5,16%) manifiestan que la distribución de los datos observados respecto a la media es poco distante o relativamente homogénea.

Finalmente, el sistema agroforestal muestra un rango que fluctuó desde los 6,37 t/ha hasta los 8,81 t/ha, un promedio aritmético de 7,58 t/ha, con una mediana registrada de 7,56 t/ha, confirmando la tendencia del muestreo hacia valores bajos. La desviación estándar determinada fue de 1,22% con la cual se calculó el coeficiente de variación en 16,10%, este valor refiere que las distribuciones de los datos respecto a su media son relativamente distantes.

**Tabla 7.** Resumen del carbono variable almacenado en la biomasa de raíces de diferentes sistemas de suelo.

Resumen	Sistema de uso		
	Macorilla	Pastura	SAF
n	3,00	3,00	3,00
Media (t/ha)	6,03	2,13	7,58
Mediana (t/ha)	5,85	2,19	7,56
D. estándar	0,58	0,11	1,22
Var. (n-1)	0,33	0,01	1,49
E. estándar	0,33	0,06	0,70
C. variación (%)	9,55	5,16	16,10
Q1 (t/ha)	5,56	2,00	6,37
Q2 (t/ha)	6,67	2,19	8,81

Para el ANOVA, existió diferencia significativa entre promedios de acumulación de carbono para la biomasa radicular de los sistemas (Tabla 8).

**Tabla 8.** Análisis de varianza (ANOVA) para variable carbono orgánico almacenado en la biomasa radicular de diferentes sistemas de uso.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Sig
Sistema	2	47,36	23,68	38,78	0,0004
Error	6	3,66	0,61		
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>51,03</b>			

CV (%): 14.90%; \*\*: = altamente significativo; n.s. = no significativo.

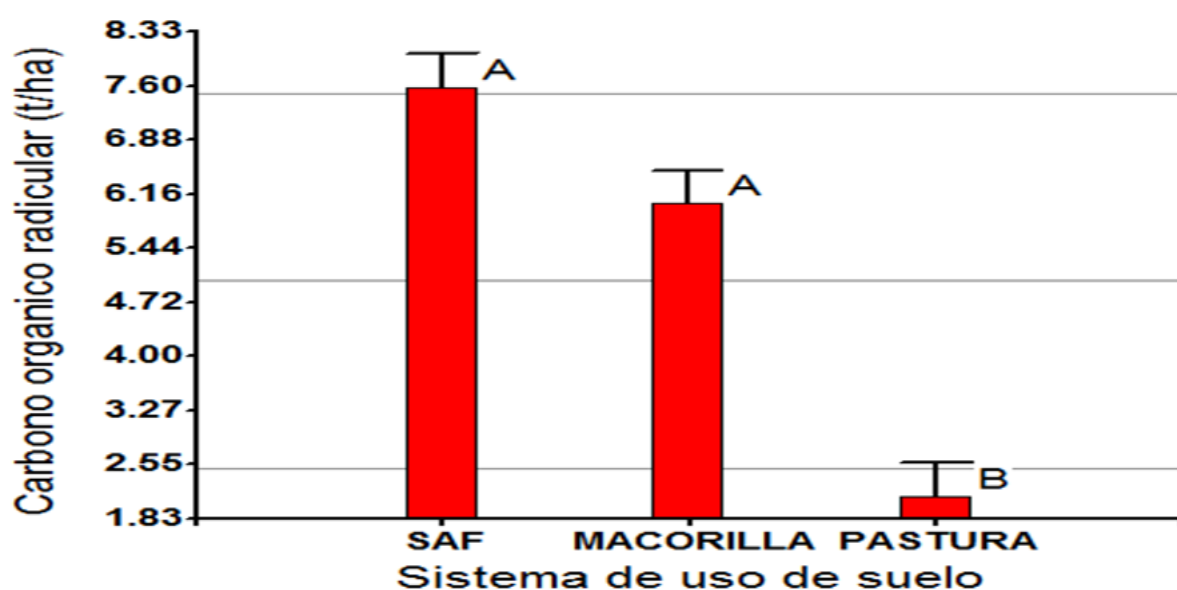
Con un 95% de confianza, hubo una diferencia significativa entre las reservas medias de carbono de las raíces utilizando la prueba de media del sistema (prueba de Tukey). Habiendo los sistemas agroforestal y macorilla los que mostraron mayor promedio (Tabla 9). Nuestros resultados difieren de lo reportado por Trellez (2012) quien sugirió que el carbono en la biomasa radicular del cacao (*Theobroma cacao* L.) vario de 0,51 t/ha a 2,85 tha durante 1, 3 y 5 años. Posiblemente se debe, a que la zona donde se ejecutó la investigación no pertenece a la nuestra, por lo que se atribuye esta variación a factores como altitud, precipitación y temperatura; siendo estos directamente relacionados a la descomposición del componente orgánico. Así mismo, se debe tener en consideración los dos grupos existentes en biomasa

radicular: raíces finas y gruesas, siendo ambas muy diferentes en sus características en cuanto a su crecimiento, mortalidad y función (Gill y Jackson, 2000).

**Tabla 9.** Carbono orgánico promedio acumulado en la biomasa radicular de diferentes sistemas de uso (t/ha).

Sistema de uso	Media	Importancia
SAF	7,58 ± 0,33	a
Macorilla	6,03 ± 0,70	a
Pastura	2,13 ± 0,06	b

Diferente letra en cada columna indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), según prueba Tukey.



**Figura 6.** Carbono orgánico de raíz en los sistemas de uso de suelo.

#### 4.2. Carbono de la biomasa superficial (herbáceo y hojarasca) en los sistemas de uso del suelo con *Theobroma cacao* “cacao”, *Pteridium aquilinum* “macorilla” y *Brachiaria brizantha* “pasto mejorado” en el distrito Uchiza - región San Martín

##### 4.2.1. Carbono orgánico en la biomasa herbácea

En la Tabla 10, se describe un resumen de los datos observados respecto al acumulación de carbono orgánico de biomasa herbácea utilizando sistemas agroforestales (SAF) macorilla, pastura y cacao.

La acumulación de carbono del sistema con macorilla muestra un rango de 1,49 t/ha a 2,09 t/ha, con un promedio de 1,90 t/ha, con una mediana 1,90 t/ha, los datos no muestran tendencias positivas o negativas. Sin embargo, la desviación estándar (0,58%) y

coeficiente de variación (30,76%) muestran que las distribuciones de los datos son considerablemente distantes a la media de las cantidades de almacenamiento de carbono. Por otra parte, el sistema con pastura muestra un rango de 2,68 t/ha a 4,44 t/ha, una media de 2,36 t/ha, con una mediana 2,34 t/ha, lo que confirma la tendencia de la muestra es menor. Sin embargo, la desviación estándar expuesta (1,04%) y la relación mutante (27,08%) tenían un comportamiento previo. Finalmente, el sistema agroforestal muestra una media de 2,36 t/ha, con una mediana 2,34 t/ha, esto confirma la tendencia hacia una media muestral más baja. La desviación estándar (0,54%) y el coeficiente de variación (22,78%) muestran que los datos están relativamente distribuidos.

**Tabla 10.** Resumen para la variable carbono almacenado en la biomasa herbácea de diferentes sistemas de suelo.

Resumen	Sistema de uso		
	Macorilla	Pastura	SAF
n	10,00	10,00	10,00
Media (t/ha)	1,90	3,83	2,36
Mediana (t/ha)	1,90	4,06	2,34
D. estándar	0,58	1,04	0,54
Var. (n-1)	0,34	1,07	0,29
E. estándar	0,18	0,33	0,17
C. variación (%)	30,76	27,08	22,78
Q1 (t/ha)	1,49	2,68	1,85
Q2 (t/ha)	2,09	4,44	2,59

Para el ANOVA, existió diferencia significativa entre promedios de acumulación de carbono en la biomasa herbácea de sistemas de uso (Tabla 11).

**Tabla 11.** Análisis de varianza (ANOVA) para variable carbono orgánico almacenado en la biomasa herbácea de distintos sistemas de uso.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Sig
Sistema de uso	2	20,29	10,14	17,88	<0,0001
Error	27	16,32	0,57		
<b>Total</b>	<b>29</b>	<b>35,61</b>			

CV (%): 27,97%; \*\*: = altamente significativo; n.s. = no significativo

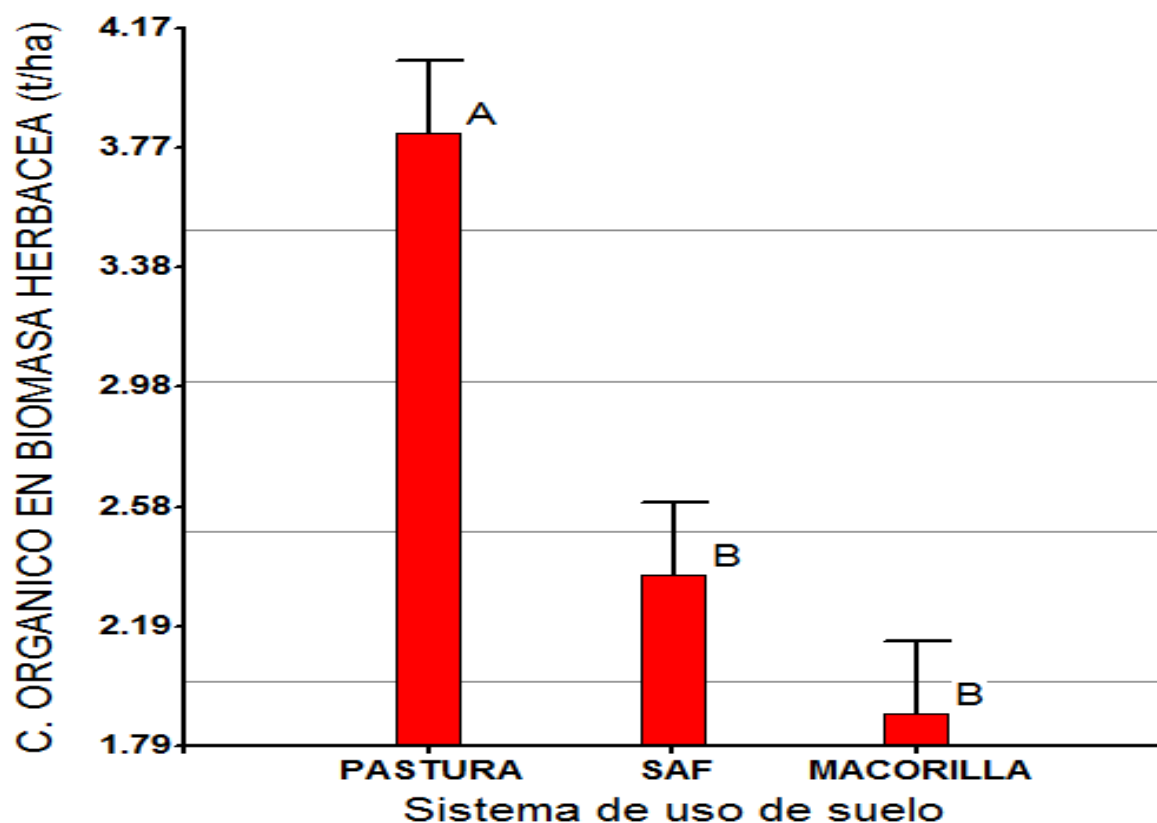


Al examinar las medias entre sistemas, hubo diferencia significativa entre el promedio de almacenamiento de carbono de la biomasa herbácea de los sistemas de uso. Los sistemas agroforestal y macorilla los que mostraron menor promedio (2,36 t/ha y 1,90 t/ha respectivamente), mientras que en el caso del sistema representado por la pastura mostró mayor promedio con un valor de 3,38 t/ha (Tabla 12). Al respecto, lo mencionado por Bringas (2010), corrobora de manera similar con nuestros resultados, donde el acumulamiento de carbono en la biomasa no leñosa (arbustos, plantas herbáceas y hojarasca) en pequeñas cantidades; 0,53 t/ha a 2,64 t/ha.

**Tabla 12.** Promedio de carbono orgánico almacenado en la biomasa herbácea de distinto sistema de uso (t/ha).

Sistema de uso	Promedio	Significancia
Pastura	3.83 ± 0.33	a
SAF	2.36 ± 0.17	b
Macorilla	1.90 ± 0.18	b

Letras diferentes por columna indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), según prueba de Tukey



**Figura 7.** Almacenamiento promedio de carbono orgánico de biomasa herbácea (t/ha) en diferentes sistemas de uso del suelo.

#### 4.2.2. Carbono orgánico en la biomasa herbácea

En la Tabla 13, se detalla los resúmenes de los datos observados respecto a la acumulación de carbono orgánico en las hojas caídas de sistemas de uso con macorilla, pastura y sistema agroforestal de cacao (SAF).

La acumulación de carbono en el sistema con macorilla muestra un rango de 2,16 t/ha a 2,64 t/ha, una media de 2,56 t/ha, con una mediana 2,42 t/ha, lo que confirma la tendencia baja promedio de la muestra. La desviación estándar fue 0,86% con que se determinó un coeficiente de variación de 33,50%, muestran que la distribución de los datos es distante a la media o relativamente distribuidas. Por otra parte, el sistema con pastura muestra un rango de 3,30 t/ha a 3,56 t/ha, una media de 3,41 t/ha, con una mediana 3,39 t/ha, lo que confirma la tendencia baja promedio de la muestra. Sin embargo, la desviación estándar (0,17%) y coeficiente de variación (5,16%) manifiestan que la distribución de los datos observados respecto a la media es poco distante o relativamente homogénea. Además, el SAF muestra un rango de 3,14 t/ha a 3,50 t/ha, una media de 3,36 t/ha, con una mediana 3,37 t/ha, esto confirma tentativamente la tendencia de las muestras a tener valores medios altos. La desviación estándar (0,22%) y el coeficiente de variación (6,41%) refiere que las distribuciones de los datos respecto a su media son relativamente homogéneas.

**Tabla 13.** Resumen de datos para la variable carbono almacenado en la hojarasca de diferentes sistemas de suelo.

Resumen	Sistema de uso		
	Macorilla	Pastura	SAF
n	20.00	20.00	20.00
Media (t/ha)	2.56	3.41	3.36
Mediana (t/ha)	2.42	3.39	3.37
D. estándar	0.86	0.17	0.22
Var. (n-1)	0.73	0.03	0.05
E. estándar	0.19	0.04	0.05
C. variación (%)	33.50	5.06	6.41
Q1 (t/ha)	2.16	3.30	3.14
Q2 (t/ha)	2.64	3.56	3.50

Para el ANOVA, existió diferencia significativa entre promedios de acumulación de carbono en la hojarasca de sistemas de uso (Tabla 14).

**Tabla 14.** Análisis de varianza (ANOVA) para variable carbono orgánico almacenado en la hojarasca de distinto sistema de uso.

<b>Fuente de variación</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>Fc</b>	<b>Sig</b>
Sistema de uso	2	20,29	10,14	17,88	<0,0001
Error	27	16,32	0,57		
<b>Total</b>	<b>29</b>	<b>35,61</b>			

CV (%): 27,97%; \*\*: = altamente significativo; n.s. = no significativo.

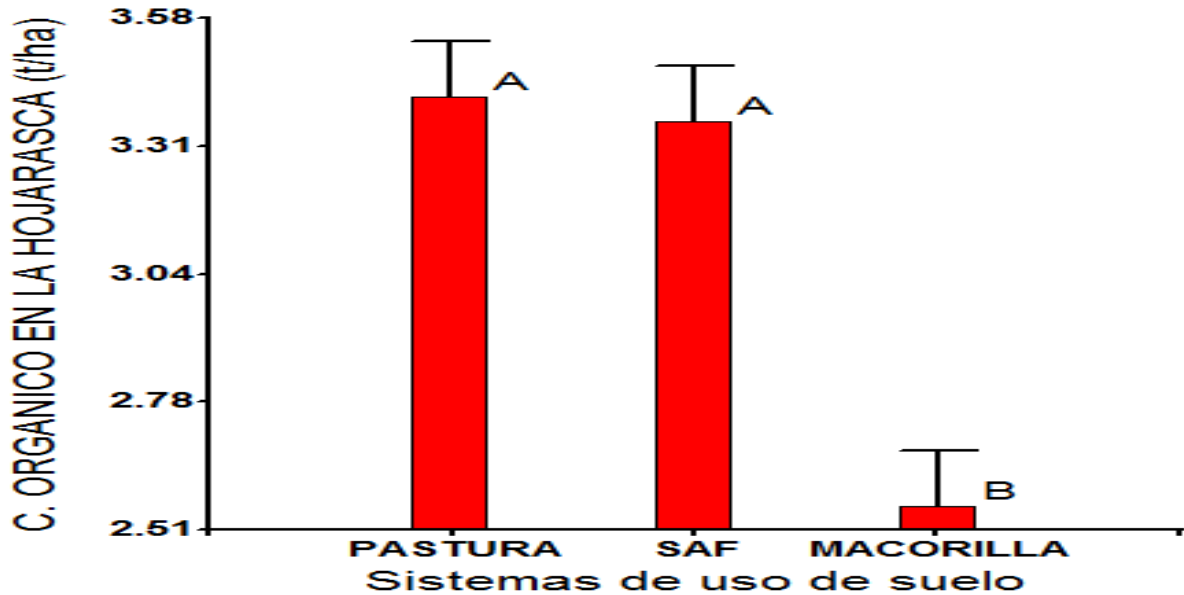
Para la prueba de medias existió diferencia significativa entre la acumulación de carbono promedio en la hojarasca de sistemas de uso. El mismo comportamiento suscito para el carbono orgánico almacenado en la hojarasca, al evidenciarse que los sistemas agroforestal y pastura mostraron mayor promedio (3,36 t/ha y 3,41 t/ha correlativamente), mientras que el sistema con macorilla obtuvo un promedio menor (2,56 t/ha) (Tabla 15).

Los resultados obtenidos en este estudio difieren a los de Andrade *et al.* (2013), quien informó que las reservas de carbono en hojarasca de las plantaciones de cacao promediaban 0,23 t C/ha año, después de 18 años de cultivo y tendían a disminuir a 0,02 t C/ha año después de 17 años. Se asume que la variabilidad en la tasa de almacenamiento pueda estar atribuida a la composición, estabilidad, funcionamiento del ecosistema (sistema de uso), debido a que forma la principal fuente de transporte de materia orgánica, nutrientes entre las plantas, energía y el suelo; tal como se puede apreciar, por la baja acumulación del sistema de uso con macorilla respecto a los demás sistemas en estudio, por lo tanto, la tasa de almacenamiento de carbono en la hojarasca es función del equilibrio entre los procesos de acumulación y descomposición (Sánchez *et al.*, 2009)., sumado a las condiciones climáticas y geográficas (Walker, 2007).

**Tabla 15.** Promedio de carbono orgánico almacenado en la hojarasca de diferentes sistemas de uso (t/ha).

<b>Sistema de uso</b>	<b>Promedio</b>	<b>Significancia</b>
Pastura	3.41 ± 0.04	a
SAF	3.36 ± 0.33	a
Macorilla	2.56 ± 0.19	b

Letra distinta por columna indica diferencia significativa ( $p < 0.05$ ), según Tukey



**Figura 8.** Promedio de carbono orgánico almacenado en la biomasa herbácea de distinto sistema de uso de suelo (t/ha).

#### 4.3. Carbono orgánico total acumulado en los sistemas de uso del suelo con *Theobroma cacao* “cacao”, *Pteridium aquilinum* “macorilla” y *Brachiaria brizantha* “pasto mejorado” en el distrito Uchiza - región San Martín

La composición aérea de los sistemas de uso va a definir las tasas de almacenamiento de la biomasa aérea debido a que generan hojas y ramas o material senescente, los cuales al descomponerse generan altos valores de biomasa para el componente de hojarasca.

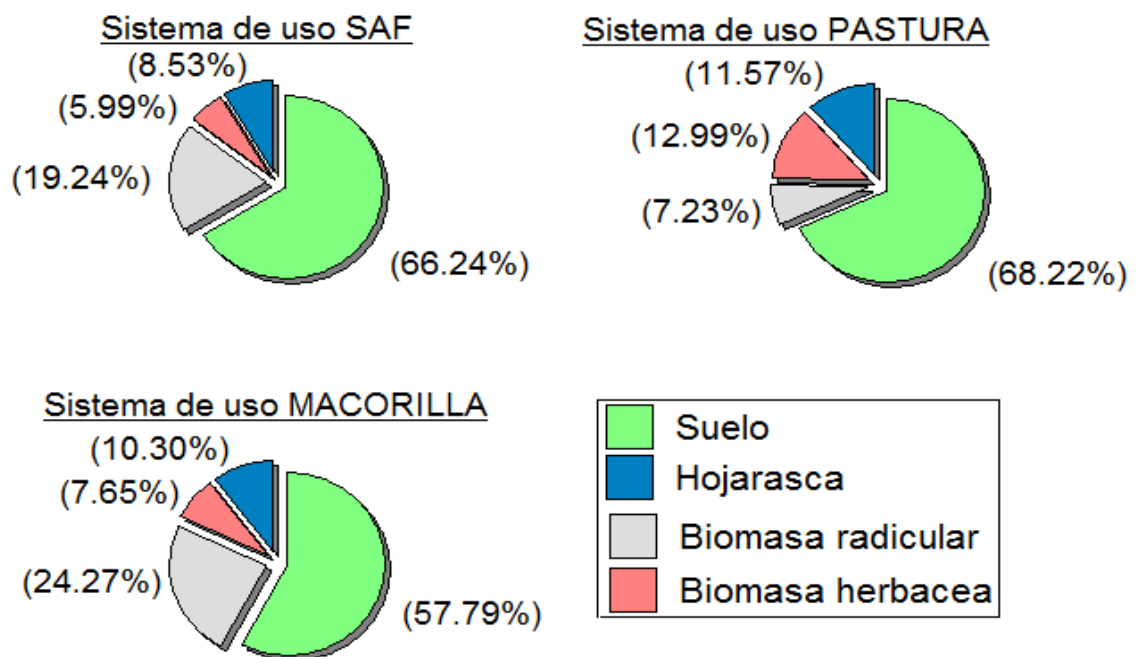
En la Tabla 16, se detalla el carbono orgánico total acumulado en los sistemas de uso del suelo en estudio. En el sistema agroforestal de cacao mostro mayor almacenamiento de carbono orgánico (39,39 t/ha) respecto a los sistemas de uso con pastura (29,48 t/ha) y macorilla (24,85 t/ha). Por otra parte, de las fracciones de carbono orgánico, el suelo mostro mayor tasa de almacenamiento con un 59,75% a 68,22%. El alto porcentaje de retención de carbono orgánico en la fracción del suelo se debe a que puede retener más de tres veces el carbono equivalente contenido en las fracciones restantes que constituyen el sistema de uso, además de ser más estable (Stevenson, 1986).

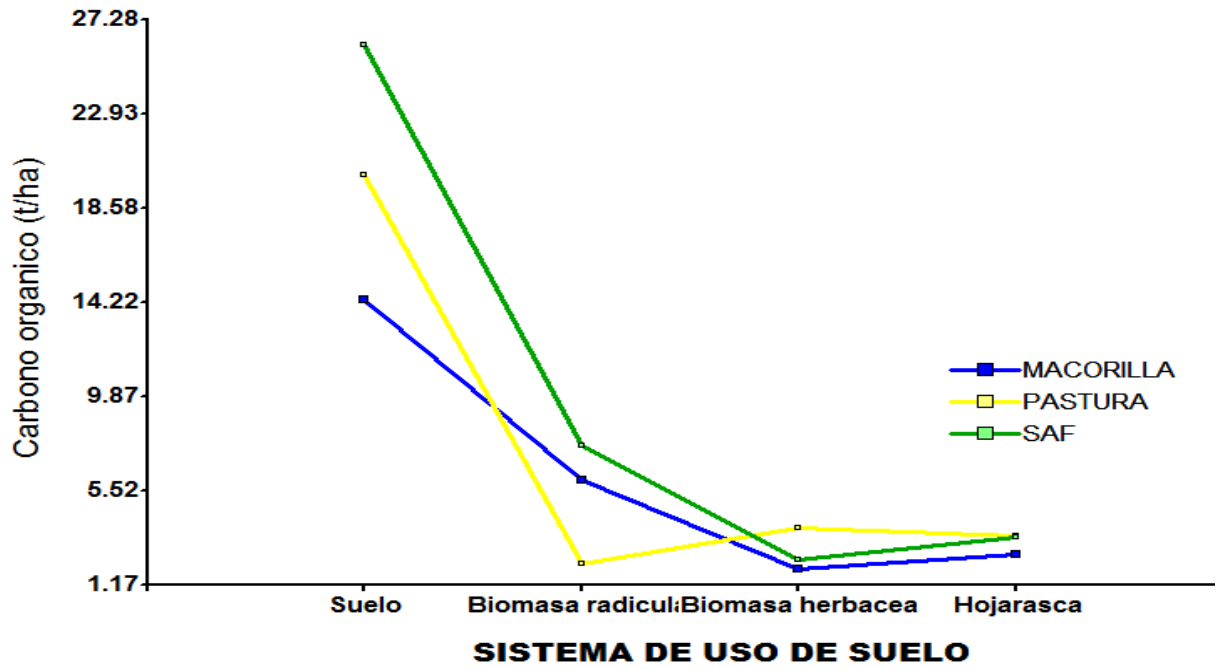
Bringas (2010) difiere de nuestros resultados al evidenciar que el almacenamiento de carbono en el sistema agroforestal cacao + laurel almacenan de 114,51 t/ha a 152,34 t/ha. En la presente investigación no se consideró el total de las fracciones que constituyen al arreglo agroforestal (biomasa, aérea, arbustiva, herbácea, hojarasca, necromasa, radicular y suelo) por lo que la diferencia mostrada puede haber ocurrido por estos factores.

**Tabla 16.** Carbono orgánico total almacenado en diferentes sistemas de suelo.

Sistema de uso	Suelo	Biomasa radicular	Biomasa herbácea	Hojarasca	Total
	(t/ha)	(t/ha)	(t/ha)	(t/ha)	(t/ha)
SAF	26,09	7,58	2,36	3,36	39,39
Pastura	20,11	2,13	3,83	3,41	29,48
Macorilla	14,36	6,03	1,9	2,56	24,85

Para mayor detalle, en las Figuras 9 y 10, muestran el comportamiento de la acumulación de carbono orgánico en las fracciones suelo, biomasa radicular, hojarasca, y biomasa herbácea. Connolly y Corea (2007) detalla que el suelo representa entre 76,07 % a 87,12 % de carbono acumulado en el arreglo de un sistema de uso, seguido por la biomasa aérea (10,36 al 21,06 %), biomasa radicular (1,45 a 3,00 %), hojarasca y hierbas con (0,46 a 1,75%). Por lo tanto, con base en los logros obtenidos en el presente trabajo coincidimos con el reportado por el autor. Siendo corroborado de la misma manera por Timoteo *et al.* (2016) que muestran que el carbono orgánico en el suelo representa el 60% del carbono total acumulado en sistemas agroforestales.

**Figura 9.** Porcentaje de carbono orgánico almacenado por fracciones en diferentes sistemas de uso (t/ha).



**Figura 10.** Línea tendencia de la acumulación de carbono orgánico en fracciones en los diferentes sistemas de uso del suelo (t/ha).

## V. CONCLUSIONES

1. El sistema agroforestal de cacao con sombra obtuvo mayor almacenamiento de carbono orgánico en el suelo (26,09 t/ha), seguido por el sistema con pastura (20,11 t/ha), y macorilla (14,36 t/ha).
2. Los sistemas agroforestal y macorilla mostraron mayor promedio de almacenamiento de carbono en la biomasa radicular (7,58 t/ha y 6,03 t/ha correlativamente).
3. Los sistemas agroforestal y macorilla mostraron menor promedio de almacenamiento de carbono en la biomasa herbácea (2,36 t/ha y 1,90 t/ha respectivamente), mientras que el sistema con pastura mostró mayor promedio (3,38 t/ha).
4. Los sistemas agroforestales y pastura mostraron mayor promedio de almacenamiento de carbono en la hojarasca (3,36 t/ha y 3,41 t/ha correlativamente), mientras que el sistema con macorilla mostró una menor cantidad (2,56 t/ha).
5. Se acepta la hipótesis alternante, al existir evidencia estadística que el sistema agroforestal de cacao mostró superior almacenamiento de carbono orgánico total (39,39 t/ha) respecto a los sistemas de uso con pastura (29,48 t/ha) y macorilla (24,85 t/ha).

## **VI. PROPUESTA A FUTURO**

1. Se recomienda el uso de sistemas agroforestales para fines de almacenamiento de carbono orgánico con la intención de reducir las altas manifestaciones de CO<sub>2</sub> en el aire.
2. El distrito de Uchiza por ser característico de presentar suelos ácidos se recomienda la asociación de cultivos agrícolas como cacao a especies leguminosas como la guaba con la finalidad de recuperar los suelos y almacenar carbono orgánico atmosférico.
3. Para posteriores estudios considerar parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del suelo, ambientales (temperatura, precipitación, nivel altitudinal) con el objetivo de realizar un análisis del efecto de estos parámetros sobre acumulación de carbono.



## VII. REFERENCIAS

- Aguirre, R., Garza, E., y Pérez, J. (2006). Estimación del carbono almacenado en un bosque de niebla en Tamaulipas. *Ciencia Universidad Autónoma de Nuevo León*, 9(2), 179-187.
- Albrecht, A., y Kandji, S. (2003). Carbon sequestration in tropical agro – forestry system. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 99(2), 15-27.
- Andrade, H. J. (2003). *Growth and inter – specific interaction in Young silvopastoral systems with native timber trees in the dry tropics of Costa Rica* [Tesis de Doctorado, Tropical Agricultural Research and Higher Education Centre]. Repositorio institucional CATIE. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/2251>
- Andrade, H. J., Figueroa, J. M., y Silva, D. P. (2013). Almacenamiento de carbono en cacaotales (*Theobroma cacao*) en Armero – Guayabal (Tolima Colombia). *Scientia Agroalimentaria*, 1, 6-10.
- Arévalo, L., Alegre, J., y Palm, C. H. (2003). *Manual de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra en Perú*. Ministerio de Agricultura.
- Arvelo, M. Á., González, D., Maroto, S., Delgado, T., y Montoya, P. (2017). *Manual técnico del cultivo de cacao: prácticas latinoamericanas*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/6181>
- Attiwill, P., & Adams, M. (1993). Nutrient cycling in forests. *New Phytologist*, 124, 561-582.
- Batjes, N. H. (1996). Total, carbono and N in the soils of the world. *Eur. J. Soil Sci.*, 47, 151-163.
- Berg, B., & McClaugherty, C. (2003). *Plant litter. Decomposition, humus formation, carbón sequestration*. Springer – Veriag Berlin Heidelberg.
- Concha, J., Alegre, J., y Pocomucha, V. (2007). Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L en el departamento de San Martín, Perú. *Ecología Aplicada*, 6(1-2), 75-82.
- Connolly, P., y Corea, A. (2007). *Cuantificación de la captura y almacenamiento de carbono en sistema agroforestal y forestal en seis sitios de cuatro municipios de Nicaragua. Hacienda Santa Maura, Jinotega, Nicaragua* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio institucional UNA. <https://repositorio.una.edu.ni/1103/>
- Cotrufó, M. (2009). *Litter decomposition: concepts, methods and future perspectives*. Soil Carbon Dynamics: An Integrated Methodology Cambridge University Press.
- Coutts, M. P., Nielsen, C. C. N., & Nicoll, B. C. (1999). The development of symmetry, rigidity and anchorage in the structural root systems of conifers. *Plant and Soil*, 217, 1-15.

- Cuestas, R., y Pérez, G. (1987). *Evaluación del pasto Brachiaria híbrido cv. Marandú en producción de carne*. Instituto Panameño de Investigación Agropecuaria (IDIAP).
- Díaz, R., Acosta, M., Carrillo, F., Buendía, E., Flores, E., y Etchevers, J. D. (2007). Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham. *Madera y Bosque*, 13(1), 25-34.
- Figueroa, C., Etchevers, J. D., Velasquez, A., y Acosta, M. (2005). Concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación de la Sierra Norte de Oaxaca. *Terra*, 23, 57-64.
- Galicia, L., Saynes, V., y Campo, J. (2015). Biomasa aérea, biomasa subterránea y necromasa en una cronosecuencia de bosques templados con aprovechamiento forestal. *Botanical Sciences*, 93(3), 473-484. <https://www.researchgate.net/publication/281411697>
- Gill, R. A., & Jackson, R. B. (2000). Global patterns of root turnover for terrestrial ecosystems. *New Phytologist*, 147(1), 13-31. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2000.00681.x>
- Gliessman, S. (1976). Agroecología: plantando las raíces de la resistencia. *Agroecología*, 8(2), 19-26.
- Instituto de Cultivos Tropicales [ICT]. (2006). *Biomasa y carbono almacenado en un sistema de manejo mejorado de cacao en Selva Alta Peruana*. ICT.
- International Center for Research in Agroforestry [ICRAF]. (2009). *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales*. Rognitz, M. T., Chacón, M. L., Porro, L. Lima Perú. Consorcio iniciativa Amazónica (IA).
- Jandl, R. (2001). *Mediciones de tendencias en el tiempo de almacenamiento de carbono en el suelo*. Simposio Internacional de Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Universidad de Valdivia, Chile.
- Jaramillo, V. (2004). *El ciclo global del carbono*. Martínez, J., Fernández, A. B., (Eds). Cambio climático: una visión desde México. INESEMARNAT, México. Pp. 77-85.
- Karizumi, N. (1974). The mechanism and function of tree root in the Process of Forest Production. *Bull GovFor. Exp. Sta. Japan*, 259, 300-315.
- Lapeyre, T., Alegre, J., y Arévalo, L. (2004). *Determinación de las reservas de carbono en la Biomasa aérea de combinaciones agroforestales de Theobroma cacao L* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS.
- Mac Dicken, K. (1997). *A guide to Monitoring Carbon storage in Forestry and Agroforestry Projects*. Winrock International Institute for Agricultural Development.
- Márquez, E. J. (2002). *Distribución altitudinal de gramíneas de páramo como respuesta a las rutas metabólicas y mecanismo de resistencia a las bajas temperaturas* [Tesis de

- posgrado, Universidad de los Andes]. Repositorio institucional ULA. <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/35419>
- Morales, E. A. (1997). *Apuntes metodológicos para el estudio de raíces en plantaciones forestales y bosques naturales*. En Memoria del simposio internacional sobre posibilidades del manejo forestal sostenible en América tropical. Bolfor. Cifor. UIFRO.
- Muños, M. (2006). *Dinámica del carbono orgánico del suelo en ecosistemas de la zona mediterránea de Chile* [Tesis de Doctorado, Universidad de Concepción]. Repositorio institucional UChile.
- Nascimento, H., & Laurance, W. (2002). Total aboveground biomass in central Amazonian rainforests: a landscape – scale study. *Forest Ecol manag.*, 168(1-3), 311-321.
- Panel Intergubernamental de Cambio climático [IPCC]. (2007). *Resumen técnico*. In Cambio Climático 2007: Mitigación, Contribución del Grupo de Trabajo III al Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático. B. Metz, O. R., Davidson, P. R., Bosch, R., Dave, L. A. Meyer. (eds), Cambridge Unyversity Press. Cambridge, UK y NY.
- Pocomucha, V., Alegre, J., y Abregu, L. (2016). Análisis socioeconómico y carbono almacenado en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Huánuco. *Ecología Aplicada*, 15(2), 107-114.
- Quiñe, P. C. (2009). *Cuantificación de biomasa y reserva de carbono en sistemas agroforestales de café (Coffea arabica L.) en dos pisos altitudinales* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto]. Repositorio institucional UNSM.
- Quispe, C. M., Quispe, F., y Yaranga, R. M. (2015). Almacenamiento de carbono en pastos naturales en la subcuenca del Canipaco, Huancayo. *Apunt. Cienc. Soc.*, 5(02), 218-227.
- Rodríguez, R., Jiménez, J., Aguirre, Ó. A., y Treviño, E. J. (2006). Estimación del carbono almacenado en un bosque de niebla en Tamaulipas, México. *Ciencia UANL*, 9(2), 179-187.
- Rojas, J., Ibrahim, M., y Andrade, H. (2009). Secuestro de carbón y uso de agua en sistemas silvopastoriles con especies maderables nativas en el trópico seco de Costa Rica. *Rev. Corpoica: Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 10(2), 214-223.
- Ruíz, S., Manrique, L., y Lindo, C. (2014). Efecto de la *Pteridium aquilinum* (macorilla) como cobertura native en la fertilidad del suelo degradado en Tingo María. *Investigación y Amazonía*, 4(1-2), 30-35.
- Samoya, S. (2009). *Mecanismo de Desarrollo Limpio: conceptos básicos. Guía para la presentación y formulación de proyectos*. Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente.

- Sánchez, S., Crespo, G., y Hernández, M. (2009). Descomposición de la hojarasca en un sistema silvopastoril de *Panicum máximum* y *Leucaena leucocephala*. Influencia de su composición química. *En Pastos y Forrajes*, 32(3), 1-11.
- Schulze, E. D., Wirth, CH., & Heimann, M. (2000). Managing forests after Kyoto. *Science*, 289(5487), 2058-2059.
- Sierra, C. A. (2001). *Biomasa de raíces en bosques primarios y secundarios del área de influencia de la Central Hidroeléctrica Porce II* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional UNC.
- Stevenson, F. S. (1986). *Cycles of soil*. John Wiley & Sons.
- Supo, J. (2014). *Seminarios de investigación científica: Metodología de la investigación para las ciencias de la salud*. Bioestadística.
- Swift, R. (2001). Sequestration of C by Soil. *Soil Sci.*, 166, 9-25.
- Timoteo, K., Remuzgo, J., Valdivia, L., Sales, F., García, D., y Abanto, C. (2016). Estimación de carbono almacenado en tres sistemas agroforestales durante el primer año de instalación en el departamento de Huánuco. *Folia Amazónica*, 25(1), 45-54.
- Trellez, C. (2012). *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 de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS.
- Walker, S., Pearson, T., Harris, N., Mac Dicken, K., & Brown, S. (2007). *Procedimientos Operativos Estandar para la Medición de Carbono Terrestre*. Winrock International. <https://es.slideshare.net/betagarri/procedimientos-operativos-estandar-para-la-medicin-de-carbono-terrestre>

## **Anexo**

## Anexo A. Panel fotográfico



**Figura 11.** Instalación de parcela con sistema agroforestal de cacao.



**Figura 12.** Instalación de subparcelas según croquis de parcela.



**Figura 13.** Vista panorámica de subparcela con sistema agroforestal.



**Figura 14.** Profundidad de muestreo de suelos (30 cm).



**Figura 15.** Obtención de muestra de suelo para determinación de carbono orgánico en el suelo.



**Figura 16.** Muestreo de hojarasca del suelo en sistema agroforestal.





**Figura 17.** Vista panorámica de la parcela con presencia de macorilla.



**Figura 18.** Muestreo de biomasa herbácea del sistema con macorilla.



**Figura 19.** Muestreo de biomasa herbácea de macorilla.



**Figura 20.** Muestreo de suelo para determinación de materia orgánica en el sistema con macorilla.



**Figura 21.** Extracción de cilindro muestreador de densidad aparente en la parcela de sistema con macorilla.



**Figura 22.** Pesado de muestras de hojarasca.



**Figura 23.** Pesado de muestras de suelo.



**Figura 24.** Llevado de muestras a la estufa.

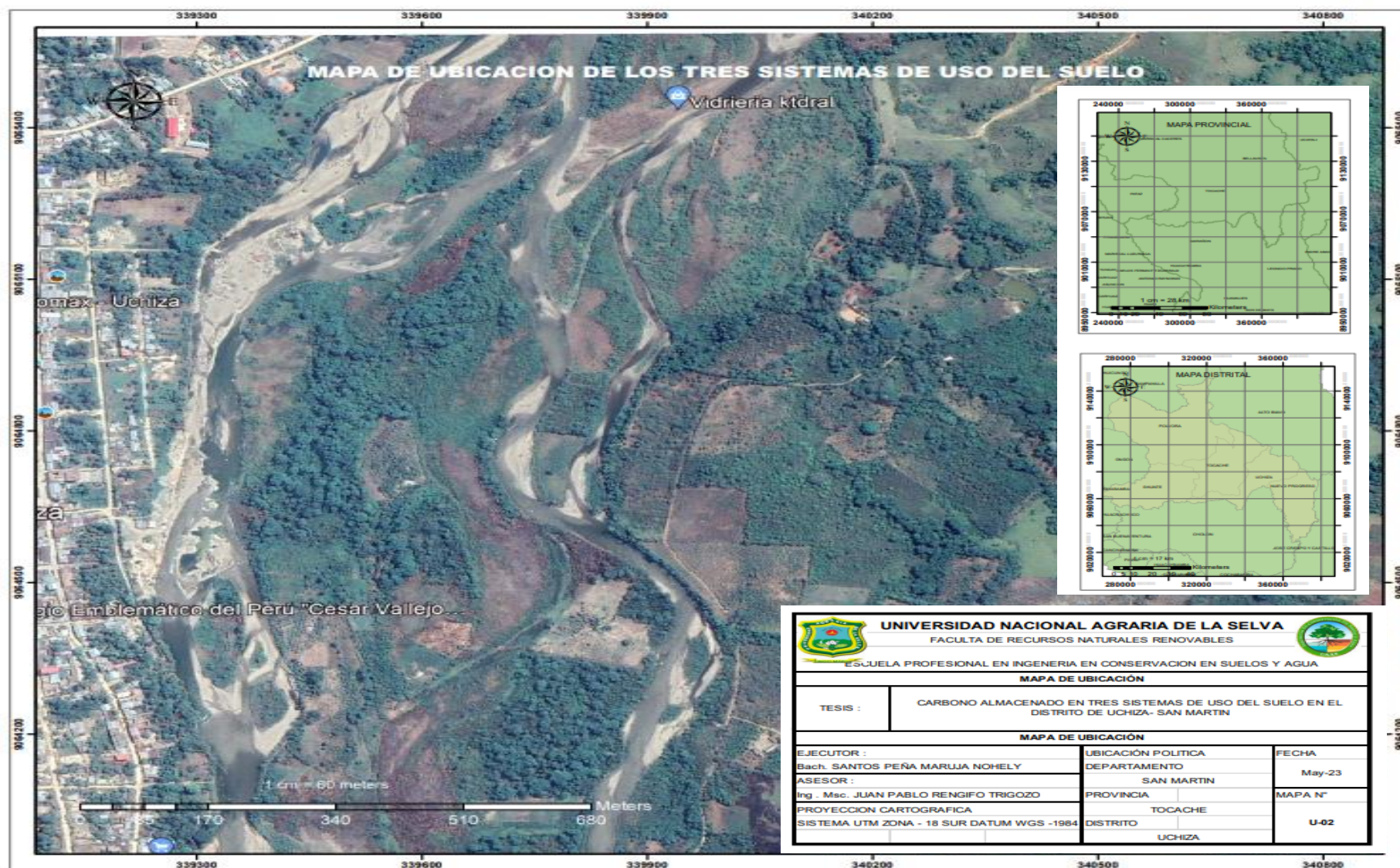


Figura 25. Ubicación de la parcela pastizal.

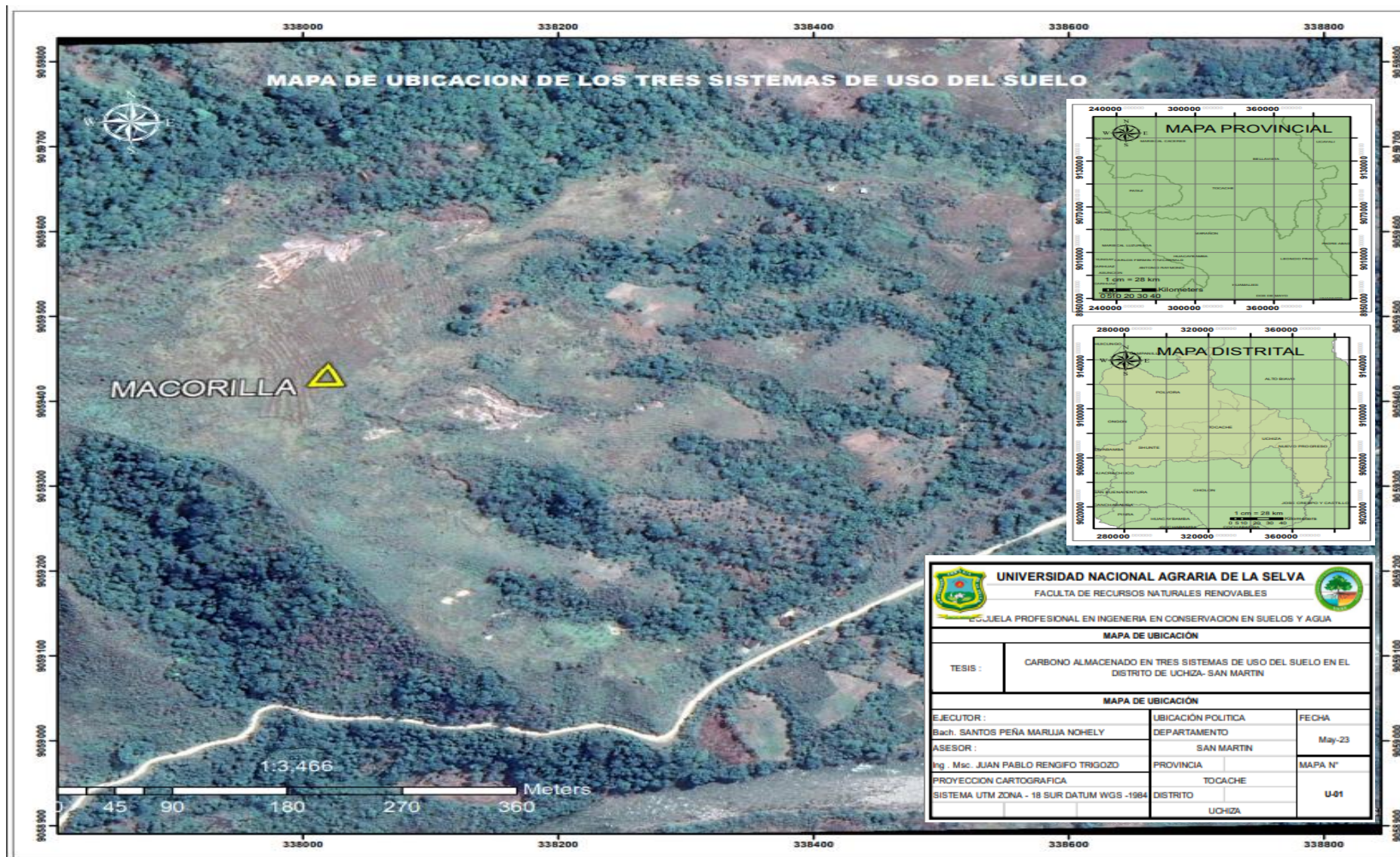


Figura 26. Ubicación de la parcela macorilla y cacao.

## Anexo B. Metodología para determinar la materia orgánica

### - Materia orgánica (método de Walkley y Black)

Pesar 1g de suelo y depositarlo en un Erlenmeyer de 250 mL, agregar 10 mL. de dicromato de potasio 2 N y añadir 10 mL de ácido sulfúrico Q.P 96%. Mezclar para homogenizar la solución y dejar reposar por 2 horas a más, llevar a volumen de 100 mL con agua destilada, tomar 20 mL. De esta solución en un vaso de precipitado para titularlo; agregar 2 a 3 gotas de indicador de difenil-amina. Titular con sal de Mohr 0.2 N. El cambio de color verde oscuro a verde brillante indicará el final de la titulación; anotar el gasto de la solución de Mohr, paralelo a esto realizar un blanco (sin muestra).

$$\% \text{ M.O.} = \frac{(a - bf) 0.003 \times 1.724}{P} \times 100$$

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.

### Análisis de la varianza

Variable N R<sup>2</sup> R<sup>2</sup> Aj CV

COBH 30 0,57 0,54 27,97

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V. SC gl CM F p-valor

Modelo 20,29 2 10,14 17,88 <0,0001

Columna1 20,29 2 10,14 17,88 <0,0001

Error 15,32 27 0,57

Total 35,61 29

### Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,83516

Error: 0,5673 gl: 27

Columna1 Medias n E.E.

Pastura 3,83 10 0,24 A

Saf 2,36 10 0,24 B

Macorilla 1,90 10 0,24 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

### **Análisis de la varianza**

Variable N R<sup>2</sup> R<sup>2</sup> Aj CV

COH 60 0,38 0,35 16,70

### **Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V. SC gl CM F p-valor

Modelo 9,26 2 4,63 17,15 <0,0001

Columna1 9,26 2 4,63 17,15 <0,0001

Error 15,38 57 0,27

Total 24,64 59

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,39529**

Error: 0,2698 gl: 57

Columna1 Medias n E.E.

Pastura 3,41 20 0,12 A

Saf 3,36 20 0,12 A

Macorilla 2,56 20 0,12 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

### **Análisis de la varianza**

Variable N R<sup>2</sup> R<sup>2</sup> Aj CV

cor 9 0,93 0,90 14,90

### **Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V. SC gl CM F p-valor

Modelo 47,36 2 23,68 38,78 0,0004

sut 47,36 2 23,68 38,78 0,0004

Error 3,66 6 0,61

Total 51,03 8

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,95781**

Error: 0,6107 gl: 6



sut    Medias n E.E.

Saf    7,58 3 0,45 A

Macorilla 6,03 3 0,45 A

Pastura 2,13 3 0,45 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

### **Análisis de la varianza**

Variable N R<sup>2</sup> R<sup>2</sup> Aj CV

cos 9 0,90 0,87 9,69

### **Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V. SC gl CM F p-valor

Modelo 206,30 2 103,15 26,96 0,0010

sut 206,30 2 103,15 26,96 0,0010

Error 22,96 6 3,83

Total 229,25 8

### **Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=4,90020**

Error: 3,8259 gl: 6

    sut    Medias n E.E.

Saf    26,09 3 1,13 A

Pastura 20,11 3 1,13 B

Macorilla 14,36 3 1,13 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**Anexo 3.** Cálculo de carbono orgánico en los sistemas de uso.

**Tabla 17.** Valores de carbono orgánico almacenado en el suelo ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ).

Sub-parcela	Nivel del suelo	SAF	Pastura	Macorilla
A1-1	0 - 10 cm	22,61	21,89	19,86
A1-2	10 -20 cm	10,53	11,03	9,87
A1-3	20 - 30 cm	10,07	8,94	8,50
A2-1	0 - 10 cm	20,67	19,26	16,87
A2-2	10 -20 cm	9,74	9,64	7,68
A2-3	20 - 30 cm	9,85	9,85	9,85
A3-1	0 - 10 cm	20,26	23,02	20,38
A3-2	10 -20 cm	10,48	9,94	8,54
A3-3	20 - 30 cm	10,05	8,91	7,84
A4-1	0 - 10 cm	21,63	16,25	15,93
A4-2	10 -20 cm	10,25	8,38	6,82
A4-3	20 - 30 cm	9,89	9,89	9,89
A5-1	0 - 10 cm	23,14	23,65	22,10
A5-2	10 -20 cm	9,80	9,21	7,82
A5-3	20 - 30 cm	9,55	7,67	8,34
B1-1	0 - 10 cm	23,68	20,13	18,14
B1-2	10 -20 cm	10,58	8,85	7,11
B1-3	20 - 30 cm	10,38	10,38	10,38
B2-1	0 - 10 cm	20,94	22,31	21,87
B2-2	10 -20 cm	10,08	7,54	9,08
B2-3	20 - 30 cm	10,16	7,86	8,76
B3-1	0 - 10 cm	23,14	19,87	17,10
B3-2	10 -20 cm	9,80	6,99	8,71
B3-3	20 - 30 cm	9,55	9,55	9,55
B4-1	0 - 10 cm	23,68	22,32	22,67
B4-2	10 -20 cm	10,58	9,88	8,85
B4-3	20 - 30 cm	10,38	8,43	8,36
B5-1	0 - 10 cm	20,94	14,89	16,65
B5-2	10 -20 cm	10,08	7,53	6,53
B5-3	20 - 30 cm	10,16	10,16	10,16

**Tabla 18.** Valores de carbono orgánico almacenado en las raíces (kg.ha<sup>-1</sup>).

<b>Sub-parcela</b>	<b>Nivel del suelo</b>	<b>SAF</b>	<b>Pastura</b>	<b>Macorilla</b>
A1-1	0 - 10 cm	3,04	1,33	3,52
A1-2	10 -20 cm	2,93	1,74	3,11
A1-3	20 - 30 cm	0,19	0,19	0,19
A2-1	0 - 10 cm	2,93	1,63	2,67
A2-2	10 -20 cm	2,41	1,52	3,07
A2-3	20 - 30 cm	0,19	0,19	0,19
A3-1	0 - 10 cm	3,26	2,63	2,67
A3-2	10 -20 cm	1,52	1,74	3,11
A3-3	20 - 30 cm	1,41	1,41	1,41
A4-1	0 - 10 cm	4,19	4,30	2,26
A4-2	10 -20 cm	3,63	4,04	1,96
A4-3	20 - 30 cm	0,15	0,15	0,15
A5-1	0 - 10 cm	4,85	3,52	1,96
A5-2	10 -20 cm	2,41	2,41	2,41
A5-3	20 - 30 cm	0,33	0,33	0,33
B1-1	0 - 10 cm	10,52	2,41	2,11
B1-2	10 -20 cm	2,93	2,93	1,78
B1-3	20 - 30 cm	0,56	0,56	0,56
B2-1	0 - 10 cm	3,74	3,81	2,37
B2-2	10 -20 cm	4,15	4,19	1,93
B2-3	20 - 30 cm	0,33	0,33	0,33
B3-1	0 - 10 cm	3,41	2,30	2,85
B3-2	10 -20 cm	2,93	2,33	2,93
B3-3	20 - 30 cm	0,96	0,96	0,96
B4-1	0 - 10 cm	2,63	2,70	2,89
B4-2	10 -20 cm	2,56	2,63	2,78
B4-3	20 - 30 cm	0,30	0,30	0,30
B5-1	0 - 10 cm	3,41	2,07	2,85
B5-2	10 -20 cm	3,07	1,44	3,04
B5-3	20 - 30 cm	0,15	0,15	0,15

**Tabla 19.** Valores de carbono orgánico almacenado en la necromasa ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ).

<b>Sub-parcela</b>	<b>SAF</b>	<b>Pastura</b>	<b>Macorilla</b>
A <sub>1</sub>	2,07	1,87	2,76
A <sub>2</sub>	3,97	2,65	3,14
A <sub>3</sub>	3,73	1,93	2,63
A <sub>4</sub>	3,34	1,68	2,95
A <sub>5</sub>	3,64	1,82	2,96
B <sub>1</sub>	2,98	1,83	2,31
B <sub>2</sub>	3,39	2,79	2,86
B <sub>3</sub>	3,57	2,78	2,98
B <sub>4</sub>	3,69	1,68	2,53
B <sub>5</sub>	3,13	2,14	2,86

**Tabla 20.** Valores de carbono orgánico almacenado en la hojarasca ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ).

<b>Sub-parcela</b>	<b>SAF</b>	<b>Pastura</b>	<b>Macorilla</b>
A <sub>1</sub>	1,08	0,82	0,93
A <sub>2</sub>	1,12	0,67	0,87
A <sub>3</sub>	1,00	0,85	0,82
A <sub>4</sub>	1,22	0,68	0,94
A <sub>5</sub>	1,16	0,75	0,77
B <sub>1</sub>	1,12	0,93	0,73
B <sub>2</sub>	1,16	0,97	0,84
B <sub>3</sub>	1,08	0,91	0,81
B <sub>4</sub>	1,20	0,76	0,76
B <sub>5</sub>	1,00	0,85	0,95