

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN CONSERVACIÓN DE  
SUELOS Y AGUA**



**CARBONO ALMACENADO EN EL SUELO DE PLANTACIONES DE Coffea arabica  
ESTABLECIDAS EN DIFERENTES VARIEDADES EN EL DISTRITO DE MONZÓN**

**Tesis**

**para optar el título de**

**INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES,**

**MENCION: CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**

**PRESENTADO POR**

**SAULO SOTO TORRES**

**Tingo María - Perú**

**2022**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

Tingo María – Perú

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



## **ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°066-2022-FRNR-UNAS**

Los que suscriben, miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 18 de octubre de 2022 a horas 11:00 a. m. de la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua:

### **“CARBONO ALMACENADO EN EL SUELO DE PLANTACIONES DE *Coffea arabica* ESTABLECIDAS EN DIFERENTES VARIEDADES EN EL DISTRITO DE MONZÓN”**

Presentado por el Bachiller: **SOTO TORRES, Saulo** después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de “**MUY BUENO**”

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES, MENCION EN CONSERVACION DE SUELOS Y AGUA**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título correspondiente.

Tingo María, 13 de diciembre de 2022

**Dr. ROBERTO OBREGON PEÑA**  
**PRESIDENTE**

**Dr. WILFREDO ALVA VALDIVIEZO**  
**MIEMBRO**



**Ing. M.Sc. JOSE VICTOR QUIROZ RAMIREZ**

**MIEMBRO**

**Ing. M.Sc. JOSE DOLORES LEVANO CRISOSTOMO**  
**ASESOR**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL  
(RIDUNAS)

Correo: [repositorio@unas.edu.pe](mailto:repositorio@unas.edu.pe)



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

## CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 022 - 2023 - CS-RIDUNAS

El Coordinador de la Oficina de Repositorio Institucional Digital 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).

Facultad:

Facultad de Recursos Naturales Renovables

Tipo de documento:

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

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
CARBONO ALMACENADO EN EL SUELO DE PLANTACIONES DE Coffea arabica ESTABLECIDAS EN DIFERENTES VARIEDADES EN EL DISTRITO DE MONZÓN	SAULO SOTO TORRES	<b>23%</b> <b>Veintitrés</b>

Tingo María, 08 de febrero de 2023

Ing. Ing. García Villegas, Christian  
Coordinador del Repositorio Institucional  
Digital (RIDUNAS)

# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

## FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

### ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA



#### CARBONO ALMACENADO EN EL SUELO DE PLANTACIONES DE *Coffea arabica* ESTABLECIDAS EN DIFERENTES VARIEDADES EN EL DISTRITO DE MONZÓN

<b>Autor</b>	: Saulo SOTO TORRES
<b>Asesor</b>	: M. Sc. José Dolores LÉVANO CRISÓSTOMO
<b>Programa de investigación</b>	: Ciencias básicas
<b>Línea de investigación</b>	: Física y química de suelos
<b>Eje temático</b>	: Almacenamiento de carbono en ecosistemas
<b>Lugar de ejecución</b>	: Tingo María
<b>Duración</b>	: 05 meses
<b>Financiamiento</b>	: Propio

Tingo María – Perú, 2022

## **DEDICATORIA**

A DIOS, por la satisfacción de esta investigación y poder concluirlo, a él quien me regala la vida y las fuerzas para seguir adelante y la sabiduría para enfrentar los retos, las alegrías y los obstáculos que se me presentan constantemente. También reconocer el esfuerzo de mis queridos padres Eber y Teresa, quienes ahora ven realizado el sueño que ellos construyeron; mi sincero agradecimiento por haberme depositado su confianza e impartido sus sabios consejos.

Dedicar mi trabajo mis hijos Adriano y Saulo Gabriel, son el motivo para poder continuar superándome y a mis hermanos Franco, Enzo, Renzo e Isela; por su gran calidad humana apoyo, amor, alegría y ánimo contagioso, que no me dejaron desfallecer para así poder llevar a cabo la culminación de este proyecto.

## **AGRADECIMIENTOS**

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por haberme abierto sus puertas para estudiar y ser hoy un profesional.
- A mis padres por haberme dado su apoyo incondicional, valores, principios, perseverancia, empeño y educación.
- Al Ing. M. Sc. José Dolores Lévano Crisóstomo, asesor principal del presente trabajo de tesis, por brindarme la oportunidad, por sus valiosos aportes, dedicación constante, confianza depositada en mi persona y porque con este trabajo descubrí que no solo hay conocimiento, sino también hay lazos de amistad y personas de gran calidad humana; gracias por brindarme todos estos valiosos detalles que me llevaron a la culminación de este gran trabajo.

## ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1. El suelo.....	3
2.2. El carbono (C) .....	3
2.2.1. Fijación y almacenamiento del carbono .....	3
2.2.2. Biomasa .....	3
2.2.3. Fijación de carbono .....	3
2.2.4. Carbono almacenado en el suelo .....	4
2.3. Cultivo de <i>Coffea arabica</i> .....	6
2.3.1. Producción y fisiología vegetal.....	6
2.3.2. Los sistemas agroforestales .....	6
2.3.3. Nutrientes.....	7
2.3.4. Contribución de la biomasa y nutrientes en reciclaje.....	7
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
3.1. Ubicación del trabajo de investigación .....	9
3.1.1. Ubicación geográfica (coordenadas UTM).....	9
3.1.2. Zonas de vida .....	9
3.1.3. Geología y fisiografía .....	<b>Error! Bookmar</b>
3.1.4. Vegetación .....	<b>Error! Bookmar</b>
3.1.5. Clima .....	9
3.2. Metodología.....	9
3.2.1. Fase de pre campo .....	9
3.2.2. Fase de campo .....	9
3.2.3. Fase de gabinete .....	12
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	15
4.1. Carbono en el suelo en tres variedades de <i>C. arabica</i> .....	15
4.2. Cantidad de carbono en hojarasca en tres variedades de <i>C. arabica</i> .....	16
4.3. Cantidad de carbono en raíces en tres variedades de <i>C. arabica</i> .....	17
4.4. Total de carbono acumulado en tres variedades de <i>C. arabica</i> .....	18
V. CONCLUSIONES.....	21

VI. PROPUESTAS A FUTURO .....	22
VII. REFERENCIAS .....	23
VIII. ANEXO.....	28

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Parcelas en estudio y sus coordenadas UTM. ....	9
2. Cantidad de carbono orgánico en el suelo en tres variedades de <i>C. arabica</i> . ....	15
3. Cantidad de carbono en hojarasca en tres variedades de <i>C. arabica</i> . ....	16
4. Cantidad de carbono orgánico en raíces en tres variedades de <i>C. arabica</i> . ....	17
5. Total de carbono orgánico almacenado en tres variedades de <i>C. arabica</i> . ....	19
6. Resultados de carbono almacenado en hojarasca: registro de datos para obtención de Biomasa de hojarasca de <i>C. arabica</i> caserío de Mata palo (distrito Monzón) muestra 1. ....	26
7. Resultados de carbono almacenado en hojarasca: registro de datos para obtención de Biomasa de hojarasca de <i>C. arabica</i> caserío de Mata palo (distrito Monzón) muestra 2. ....	27
8. Resultados de carbono almacenado en hojarasca: registro de datos para obtención de Biomasa de hojarasca de <i>C. arabica</i> caserío de Mata palo (distrito Monzón) muestra 3. ....	28
9. Resultados de carbono almacenado en suelo: Registro de datos para obtención de Carbono almacenado en el suelo caserío de Mata palo (distrito Monzón). ....	29
10. Resultados de carbono almacenado en suelo: Registro de datos para obtención de Carbono almacenado en el suelo caserío de Mata palo (distrito Monzón). ....	29
11. Resultados de carbono almacenado en suelo: Registro de datos para obtención de Carbono almacenado en el suelo caserío de Mata palo (distrito Monzón). ....	30
12. Resultados de carbono almacenado en raíces: Registro de datos para obtención de Biomasa radicular de <i>C. arabica</i> variedad Catimor distrito Monzón (muestra 1). ...	30
13. Resultados de carbono almacenado en raíces: Registro de datos para obtención de Biomasa radicular de <i>C. arabica</i> variedad Bourbón distrito Monzón (muestra 2). ..	31
14. Resultados de carbono almacenado en raíces: Registro de datos para obtención de Biomasa radicular de <i>C. arabica</i> variedad Typica distrito Monzón (muestra 3). ....	31

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Transectos de muestreo de suelos para su análisis físico y químico en cada área de estudio. ....	10
2. Diagrama de muestreo para la obtención de restos de hojarasca. ....	11
3. Diseño y diagrama de muestreo.....	12
4. Relación de carbono/hectárea en el suelo en tres variedades de <i>C. arabica</i> .....	15
5. Relación de carbono/hectárea en hojarasca en tres variedades de <i>C. arabica</i> . ....	17
6. Relación de carbono/hectárea en raíces en tres variedades de <i>C. arabica</i> .....	18
7. Relación de carbono/hectárea total almacenado en tres variedades de <i>C. arabica</i> . ..	19
8. Realizando el análisis del suelo y codificando las muestras. ....	32
9. Estableciendo las muestras para su titulación. ....	32
10. Selección de las dos muestras para su análisis. ....	33
11. Realizando el conteo para titulación. ....	33
12. Plano de ubicación de la zona de estudio. ....	34

## RESUMEN

La presente investigación se ubicó en el distrito de monzón que alberga zonas cafetaleras con un gran potencial productivo de cafés especiales para su industrialización de tal manera este cultivo también nos reportó su capacidad para almacenar carbono en su ubicación; por lo tanto nuestro objetivo fue evaluar y determinar la cantidad de carbono almacenado en los suelos de las plantaciones de diferentes variedades de *coffea arábica*, como (Catimor, Bourbon y Typica) ubicados a 1120 msnm, 1530 msnm y 1633 msnm respectivamente. para cada variedad se designó un predio de 20 x 50 m, dividiéndose en dos pequeñas subparcelas de 25 x 10 m en donde se tomó la muestra y se determinó la cantidad de carbono orgánico.

Para la determinación del carbono en el suelo se procedió por el método de Walkley y Black (1934) determinándose el carbono orgánico total en toneladas por hectárea; para determinar el carbono en hojarasca nos basamos en la metodología descrita por ICRAF (2009) determinándose la biomasa en hojarasca el peso húmedo menos el peso en seco y para el carbono total en las raíces se debe tener como dato la cantidad de biomasa en las raíces y la constante de 0.50 propuesta por el IPCC (2000; lo cual nos permitió obtener resultados diferentes según las zonas altitudinales y variedades de cafés en el distrito de Monzón, siendo el que mayor contenido carbono presento la especie Catimor con una altitud de 1120 msnm y con producción de carbono de 166.596 t/ha, determinándose que dicha especie de Catimor presenta mayor cantidad de almacenamiento con respecto a las variedades de Bourbon y Typica con resultados de 89.047 y 87.026 t/ha de carbono.

**Palabras clave:** Carbono orgánico, biomasa, indicadores físico- químico.

## ABSTRACT

The present investigation was located in the Monzón district, which houses coffee-growing areas with a great productive potential of special coffees for industrialization, in such a way that this crop also reports its carbon storage capacity in its location; therefore our objective is to evaluate and determine the amount of carbon stored in the soils of the plantations of different varieties of *coffea arabica*, such as (Catimor, Bourbon and Typica) located at 1120 masl, 1530 masl and 1633 masl respectively. For each variety, a 20 x 50 m plot was designated, divided into two small 25 x 10 m subplots where the sample was taken and the amount of organic carbon was determined.

For the determination of carbon in the soil, the method of Walkley and Black (1934) was used, determining the total organic carbon in tons per hectare; To determine the carbon in litter, we use the methodology described by ICRAF (2009), determining the biomass in litter as the wet weight minus the dry weight, and for the total carbon in the roots, the amount of biomass in the roots must be taken as data. and the constant of 0.50 proposed by the IPCC (2000; which allowed us to obtain different results according to the altitudinal zones and varieties of coffees in the Monzón district, being the one with the highest carbon content the Catimor species with an altitude of 1120 masl and with carbon production of 166,596 t/ha, determining that said Catimor species presents a greater amount of storage compared to the Bourbon and Typica varieties with results of 89,047 and 87,026 t/ha of carbon.

**Keywords:** Organic carbon, biomass, physical-chemical indicators.

## I. INTRODUCCIÓN

En el Perú, el *C. arabica* ha sido la principal fuente de economía para los agricultores exportando, en el año 2011 exportó 5 600 000 tn. Nuestra diversidad en tierras agrícolas muestra un potencial en la producción de *C. arabica*, siendo de crecimiento cada año por su demanda del mercado internacional (Vaast, P; Snoeck, D. 1999).

*Coffea* spp. es un sistema agrícola de una gran diversidad vegetal, casi más estable y sostenible que el tradicional monocultivo, debido que es beneficioso en los árboles de sombra conservando la materia orgánica (MO) en mayor extensión, lo cual es muy importante porque mitiga problemas ambientales dentro de los cultivos tropicales, por ende afecta a las propiedades físicas, químicas y biológica del suelo; por lo tanto hoy en día se recomienda utilizar nuevas prácticas que favorezcan a la conservación de esta y que pueda incrementar la actividad microbiológica del suelo y también los procesos biológicos como son la nitrificación, la simbiosis micorrítica y la disponibilidad de nutrientes para las plantas, que conlleva al menor gasto en fertilizantes y otros agroquímicos, por consecuencia aumentar la utilidad de los productores.

La fragilidad económica es un problema en los cultivos para el productor, la incidencia ambiental negativas produce debilidad del monocultivo del *C. arabica*, todo ello a causado cierto desequilibrio en su pertinencia socioeconómica, tomando en cuenta la importancia del árbol en función a su sombra, los sistemas que puedan lograr el plan de mejora en reciclaje y disposición de nutrientes, reduciendo las pérdidas y evitando la erosión de suelos, aumentando así una buena rentabilidad a productores dedicados a la caficultura (Beer et al., 1998).

Teniendo en cuenta esta realidad, la tierra en el distrito de Monzón, en particular del caserío Matapalo se caracterizan por poseer grandes instalaciones agroforestales del cultivo de *C. arabica* bajo sombra asociado con especies leguminosas, siendo la de mayor predominancia de *Inga edulis*. En este sentido nos planteamos la siguiente interrogante, ¿el tipo de variedad de *C. arabica* como Bourbón, Typica y Catimor cuantificar la cantidad de carbono orgánico que almacenan dentro de las hojarascas, raíces y suelo?

Como hipótesis se afirma que el carbono almacenado varía de acuerdo al cultivo de *C. arabica* y sus variedades como Bourbón, Typica y Catimor, el cual cambia en sus componentes como en las hojarascas, raíces y suelo.

Por lo cual se busca evaluar el carbono almacenado en de las hojarascas, raíces y suelo a través del sistema agroforestal dentro de tres variedades del cultivo de *C. arabica*. Teniendo en cuenta los parámetros de evaluación se describe los objetivos planteados:

**Objetivo general:**

1. Evaluar la cantidad de carbono almacenado en el suelo en tres variedades de *C. arabica* como Bourbón, Typica y Catimor perteneciente al distrito de Monzón.

**Objetivos específicos:**

1. Determinar el carbono en la biomasa almacenado en hojarasca en tres variedades de especies de *C. arabica* como Bourbón, Typica y Catimor.
2. Determinar el carbono en la biomasa almacenado en las raíces en tres variedades de especies de *C. arabica* como Bourbón, Typica y Catimor.
3. Determinar el carbono orgánico total en el suelo en tres variedades de *C. arabica* como Bourbón, Typica y Catimor.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. El suelo**

El suelo es un eje tridimensional de la tierra donde las especies tanto animal y vegetal vive, crecen y se desarrolla para cumplir funciones diferentes, en ellos crecen y se desarrollan las plantas y principalmente proporcionan alimento al hombre y químicamente el almacenamiento de carbono. El suelo está compuesto de 25% agua, 25% aire, 45% minerales sólidos y 5% de materia orgánica donde cada uno cumplen una función importante en el desarrollo de las plantas dentro de la tierra (Espinoza, 2005). Desde el punto microbiológico, que el perfil del suelo es un gran sistema donde todas las especies se integran formando un indicador importante llamado materia orgánica. Las especies vegetativas y especies de animales regresan al suelo formando parte de ellos como descomposición de materia orgánica e inorgánicamente como minerales, gases y agua (Gallardo, 2001).

### **2.2. El carbono (C)**

Este elemento se encuentra de forma natural en varios compuestos en su mayoría compuestos orgánicos o en cuerpos de soluciones acuosas formando carbonatos disueltos; como el anhídrido carbónico en la atmosfera; en la biocenosis formando compuestos de carbono, esto debido a un proceso metabólico que ocurre en el desarrollo del mismo, que luego es liberado cuando termina su ciclo vital. El 50 % de todo el peso seco en cualquier ser vivo está constituido por carbono, esto es considerado uno de los elementos principales para la vida (Martínez et al., 2008).

#### **2.2.1. Fijación y almacenamiento del carbono**

Ríos (2007) sostiene que los bosques son muy importantes porque moderan el flujo neto de gas de efecto invernadero (GEI) entre la tierra y la atmósfera. Los bosques almacenan carbono en la biomasa y los suelos. Al aumentar su superficie o su productividad funcionan como sumideros de carbono, generando un acrecentamiento de la absorción de CO<sub>2</sub> atmosférico, pueden ser fuente de GEI cuando la quema y la descomposición de la biomasa y las alteraciones del suelo originan las emisiones de CO<sub>2</sub> y otros GEI. Actualmente cerca del 20 por ciento de las emisiones antropogénicas mundiales de CO<sub>2</sub> se deben a cambios en el uso de la tierra, especialmente por la deforestación en los sitios tropicales.

#### **2.2.2. Biomasa**

Marquez (2005) sostiene que la variabilidad del carbono acumulado por unidad de superficie se debe al tipo y estado del bosque. Destacando los bosques verdes adultos, donde el carbono total alcanza 606,80 MgC/ha, con la siguiente distribución: 283,75 MgC/ha

en la biomasa aérea; 79,92 MgC/ha en raíces (diámetro >5 mm); 2,79 MgC/ha en el sotobosque; 53,56 MgC/ha en la necromasa; 5,87 MgC/ha en la hojarasca; y 180,91 MgC/ha en los primeros 30 cm de suelo. En todos los casos estudiados, el carbono acumulado en los suelos supera 140 MgC/ha, teniendo presente que se tomaron los primeros 30 centímetros de profundidad de suelo esto se debió a que aunque se encuentra materia orgánica hasta los 120 cm se sabe que los cambios que se producen más allá de los 30 cm no son significativos.

### **2.2.3. Fijación de carbono**

El mayor porcentaje de carbono proviene de los bosques, el 29 % se encuentra en tierras con vegetación, todo el carbono que se encuentra en los suelos se estima un 36 % y se encuentra establecido a un metro de profundidad. Los estudios revelan un balance completo en bosques de Francia por (Dupouey et al., 1999). La evaluación se realizó en 540 parcelas de estudio, diversificando los sectores europeos. El carbono dentro del ecosistema fue establecido en un promedio de 137 t C/ha; del total, donde el suelo representa 51 % (71 t), los vegetales en descomposición presentan el 6% y el 6% en las raíces. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2002).

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

#### **2.2.4.1. Fases del carbono y su función en el suelo**

El carbono orgánico total en el suelo es considerado como la más grande reserva que interacciona con la atmósfera y se considera un aproximado de 1500 Pg C a una profundidad de 1 m (Espinoza, 2005). El carbono inorgánico representa cerca de 1700 Pg, pero es capturado en forma más estable, como el carbonato de calcio. La vegetación (650 Pg) y la atmósfera (750 Pg) almacenarían considerablemente menos cantidad que los suelos. El flujo entre el carbono orgánico del suelo y la atmósfera es importante y puede ser positivo bajo la forma de captura o negativo como emisión de CO<sub>2</sub> (Ávila et al., 2001). Según siglos atrás, el desarrollo de la agricultura ha sido la más importante causa del incremento de la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, pero actualmente los más grandes contribuyentes son las emisiones de los combustibles fósiles emitidos por la industria y el transporte (6.5 Pg/año). Es importante mencionar, que la deforestación de grandes áreas tropicales genera emisiones de carbono siendo de 1.5 Pg/año, además se genera la acumulación en los ecosistemas de la tierra siendo de 1.8 a 2 Pg/año (Arévalo et al., 2003).

#### **2.2.4.2. La captura de carbono en el suelo**

El ciclo del carbono orgánico del suelo es la mayor reserva en interacción con la atmósfera y se estima cerca de los 1500 Pg C considerándose a 1 m de profundidad (1 Pg = 10<sup>15</sup>, g=Gt=10<sup>9</sup> toneladas métricas) y cerca de 2456 Pg C

considerándose los dos metros de profundidad. La vegetación (650 Pg) y la atmósfera (750 Pg) almacenan considerablemente menos cantidad que los suelos. El flujo entre el carbono orgánico del suelo y la atmósfera es importante y puede ser positivo cuando captura o asimila el carbono, o puede ser negativo cuando actúa emitiendo CO<sub>2</sub> (FAO, 2002).

#### **2.2.4.3. El carbono orgánico y su función en los suelos**

La presencia de carbono orgánico en el suelo natural representa un equilibrio dinámico entre la absorción de material vegetal muerto y la pérdida por descomposición (mineralización) en condiciones aeróbicas del suelo, la gran parte del carbono que ingresa al suelo es lábil y sola una pequeña fracción (1 %) del que ingresa (55 Pg/año) se acumula en la fracción húmica estable (0,4 Pg/año) (Schlegel et. al., 2008). Los otros depósitos de carbono que están en el suelo presentan diferentes medios de permanencia presentando una variación de uno a pocos años, depende de la estructura bioquímica. En este caso tenemos como ejemplo, la lignina que presenta mayor estabilidad que la celulosa, a décadas o a más de 1 000 años (fracción estable) (Ávila et. al., 2001)

#### **2.2.4.4. La materia orgánica y su rol en los suelos**

La materia orgánica del suelo es una propiedad química muy relevante en la calidad del suelo y en las funciones agrícolas (producción y economía) como en las funciones ambientales entre ellas captura de carbono y calidad del aire para ellos se considera que la materia orgánica es una principal determinante dentro la actividad biológica (Gómez, 2000). Las diversidades biológicas en el suelo cumplen una función importante en la descomposición de materia orgánica a través de la actividad microbiana y tiene mucha importancia sobre las propiedades químicas y físicas de los suelos (Gallardo, 2001). La estabilidad en la estructura del suelo y la buena cobertura de residuos aprovechables aumentan con la concentración de materia orgánica, una vez haya incrementado la tasa de infiltración y la capacidad de agua disponible en el suelo, así como la capacidad de resistir la erosión hídrica y eólica. La materia orgánica del suelo también mejoraría la dinámica y la biodisponibilidad de los más importantes nutrientes de la flora (Zech et al., 1999).

#### **2.2.4.5. El carbono y la biomasa en los bosques secundarios**

Uno de los proyectos de investigación realizados fue a través de BIOFOR donde se llevaron a cabo, diversos trabajos relacionados ha almacenamiento y captura de carbono manejando la metodología de Brown (1996), con el fin de ofrecer instrumentos de política vía estudios de valoración económica. Baldoceca (2001) describe a través de una investigación una tasa promedio de secuestro de carbono aéreo para bosques

secundarios de dos a diez años es de 9.26 t/ha/año, dentro de las áreas de estudio ubicados en la carretera desde Neshuya a Curimaná, perteneciente al departamento de Ucayali.

### **2.3. Cultivo de *Coffea arabica***

El *C. arabica* como cultivo económico aprovechable en la agricultura ha sido criterio de investigación por ser un sistema productivo dentro del margen de mucha investigación, cada estudio realizado en esta tendencia es beneficio para el productor y fomentando una producción acorde con el medio ambiente de largo plazo y sostenible (Carvajal, 1985). Los agroecosistemas fueron perdiendo su diversidad biológica de las cuales llegando a tener acción considerable en la actividad biológica para el beneficio del sistema. No menos importante, la comercialización del producto en los últimos años, el valor económico fue incrementando, siendo también los costos de producción elevados y la demanda *C. arabica* orgánico en aumento (Muschler y Bonnemann, 1997).

#### **2.3.1. Producción y fisiología vegetal**

La cantidad de materia acumulada va en relación del área foliar desde el punto ecofisiológicos de materia orgánica en un período. Está directamente relacionada con la productividad, de la mano con la actividad fotosintética, demanda mayor cantidad agua, luz, temperatura y sales minerales para los procesos fisiológicos de la planta (Fournier, 1988).

#### **2.3.2. Los sistemas agroforestales**

Las áreas con agroforestería, es un sistema de uso del suelo que se planteó y practico desde tiempos anteriores, por lo tanto las actividades con mayor realce se consideraron en los finales de los años 70, describiendo que las propiedades y servicios que estos sistemas proporcionan a los productores, asociado a la creciente inquietud internacional sobre temas ambientales, hace dar la razón de que los SAF presentan numerosa ventaja sobre los monocultivos respondiendo así a la demanda de una agricultura multifuncional, abasteciendo de servicios medioambientales importantes, valores estéticos, zonas de amortiguamiento en áreas protegidas y áreas de recreación para turismo agroecológico (Steppler y Nair, 1987).

La capacidad de una especie arbórea para generar gran cantidad de materia orgánica, como hojarascas y residuos de poda, podría ser más significativo que la fijación de nitrógeno gracias al efecto positivo en las propiedades físicas y químicas del suelo, principalmente en las plantaciones que son fertilizadas. En la ciudad de Turrialba, Costa Rica se halló después de diez años cultivos de caña de azúcar asociadas a SAF de cacao (*Theobroma cacao*) con poro y cacao con laurel (*Cordia alliodora*), donde la cantidad de materia orgánica en el suelo tuvo un aumento de alrededor del 21 % y 9 % (Beer, 1988).

Los aportes de residuos en hojarasca y ramificaciones a causa de las podas recubren la parte superficial del suelo reduciendo el impacto directo y la fuerza de las gotas de la lluvia, las escorrentías y la erosión, mejorando su estructura, la cantidad de nutrientes en el suelo tales como NPK, por consecuentes es importante las asociaciones de árboles con cultivos temporales y permanentes (Fassbender 1988).

### **2.3.3. Nutrientes**

Existen 16 elementos entre macro y micronutrientes que son de importante para el suelo y posterior a eso la planta pueda beneficiarse para su crecimiento y desarrollo, los de mayor consideración y relevancia es C, H, O, que son procedentes principalmente del agua y el aire. Como macronutrientes esenciales para que la planta realice funciones de metabolismo es el nitrógeno y potasio, teniendo en cuenta que el nitrógeno se puede captar en forma biológica de la atmósfera por variedades de bacterias que se incorporan a las plantas. El fosforo es muy importante porque participa en el proceso de fosforilación, fotosíntesis, respiración, síntesis y en la descomposición de los carbohidratos, proteínas y grasas, considerándose algo primordial en la membrana celular aumentado considerablemente enraizamiento y macollamiento de los cultivos. Los microelementos más considerados y esenciales en cantidades regulares por la plantan son el Ca, Mg y S, pero también se requiere en pequeñas cantidades para la planta, los siguientes oligoelementos como el hierro, Manganeso, zinc, cobre, boro, molibdeno, cloro y níquel y otros elementos (no esenciales), pero en ciertos casos logran ser muy favorables para las plantas como el Cobalto, silicio, sodio y galio. Encontrándose elementos existentes que son tóxicos cuando su concentración y su absorción es mayor para la planta porque llegan a dañar las células y tejidos tales como Al y Pb. Los nutrientes presentan diferentes formas químicas particulares de adsorción, en forma catiónicas tales como (N, K, Ca, Mg, Mn, Zn, Cu y Fe) y otras aniónicas tales como (N, P, S, B, Mo y Cl). Se debe considerar favorable la presencia de estas formas químicas en el suelo, para generar una eficaz adsorción, y para que se genere esta absorción, se necesita aparte de los mecanismos fisiológicos de la membrana que participa en la introducción de los nutrimentos del suelo a la raíz, son transcendentales también los procesos afines con la forma en que ellos se acercan desde los diferentes puntos del suelo (Bertsch, 1998).

### **2.3.4. Contribución de la biomasa y nutrientes en reciclaje**

Las especies asociadas al *C. arabica* son sistemas agroforestales muy relevantes y productivos en acumulación de nutrientes en el suelo, existen casos sobre la perdida de nutrientes en el suelo, tales como la continua poda en las parcelas arbóreas que afecta la acumulación de biomasa y nutrientes que regresan al suelo; si las podas por año se

incrementan continuamente, disminuiría la acumulación de biomasa generada en la parte de las copas y ramificaciones de los árboles, otro elemento que afectaría la contribución y ciclo de nutrientes es el tipo de asociación del estrato arbóreo y su densidad de plantación (Lampkin, 2001).

Para la evaluación de la elaboración de biomasa y la aportación de nutrientes en restos de poda de áreas arbóreas con sombra en tres asociaciones con *C. arabica*, bajo tres niveles de manejo, se llegó a concluir que el sistema de manejo y el tipo de sombra establecen el aporte y la tasa de liberación de nutrientes en el suelo; se determinó que los tratamientos con el mayoritario aporte de biomasa (MS) y nutrientes fueron aquellos con sombra de poro bajo, con un manejo medio convencional (11790 kg /ha MS, 144 kg/ha de N y 101 kg/ha de K) y bajo manejo orgánico intensivo (10072 kg/ha MS, 113 kg/ha de N, y 90.8 kg/ha de K) (Montenegro, 2005).

Según la investigación se encontraron datos similares de biomasa de hojarasca en cafetales bajo sombra y a pleno sol, en dos localidades de Colombia, en condiciones ambientales diferentes; la acumulación de biomasa en asociaciones con *C. arabica* bajo sombra fue de 2200 y 1900 kg/ha/año, respectivamente, y la biomasa en asociaciones con *C. arabica* en pleno sol fue de 1100 y 900 kg/ha/año, correspondientemente. No se llegó encontrar diferencias significativas en las aportaciones de nutrientes entre localidades para los cafetales bajo sombra; no obstante, los aportes de P y Mg si fueron significativos entre localidades para los cafetales a pleno sol (Cardona y Sadeghian, 2005).

Jiménez y Martínez (1979) mencionan que la biomasa y nutrientes que se encuentran concentrados en el estrato herbáceo dependerían de otros factores, según el tipo de asociación dentro de un sistema agroforestal, evaluando así la producción de materia orgánica en SAF de *C. arabica* con diferentes estructuras, donde se hallaron que la biomasa en el estrato herbáceo fue menor en SAF con sombra diversa (37.5 kg/ha), que la biomasa acumulada en SAF con dosel de una sola especie de sombra (1142 kg/ha) y que la biomasa acumulada a pleno sol (1851 kg ha<sup>-1</sup>).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación del trabajo de investigación

El trabajo de investigación se ejecutó en 3 parcelas agroforestales diferenciadas por el tipo de variedad de *C. arabica* (Bourbón, Typica y Catimor), políticamente ubicados en el caserío Matapalo, distrito Monzón, provincia Huamalíes, departamento Huánuco.

##### 3.1.1. Ubicación geográfica (coordenadas UTM)

Las coordenadas UTM de las parcelas en estudio (Tabla 1) son:

**Tabla 1.** Parcelas en estudio y sus coordenadas UTM.

Parcelas en estudio	Coordenadas UTM		Altura (metros sobre nivel del mar (msnm))
	Este	Norte	
<i>C. arabica</i> Var. Catimor	379624	8995198	1120
<i>C. arabica</i> Var. Bourbón	376212	8993567	1530
<i>C. arabica</i> Var. Typica	379455	8995254	1633

##### 3.1.2. Zonas de vida

Las zonas de que se encuentra el trabajo de investigación presentan un: Bosque Muy Húmedo – Pre montano Tropical (bmh-PT) a Bosque Muy Húmedo – Subtropical (bmh-S) (MINAM, 2021).

##### 3.1.3. Clima

El distrito de Monzón y especialmente el caserío de Matapalo presenta un clima cálido con temperatura anual que desde los 19.20 a 28.80 °C, con una humedad relativa considerable del 78.30 %, con precipitaciones anuales de 3172.8 mm. Pudiéndose observar microclimas o precipitaciones a intervalo muy reducidas de 550 a 850 m de distanciamiento. (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI, 2013).

#### 3.2. Metodología

El trabajo de investigación según los parámetros de evaluación se realizó en tres fases: primero la fase de pre campo, segundo la fase de campo y tercero la fase de gabinete.

##### 3.2.1. Fase de pre campo

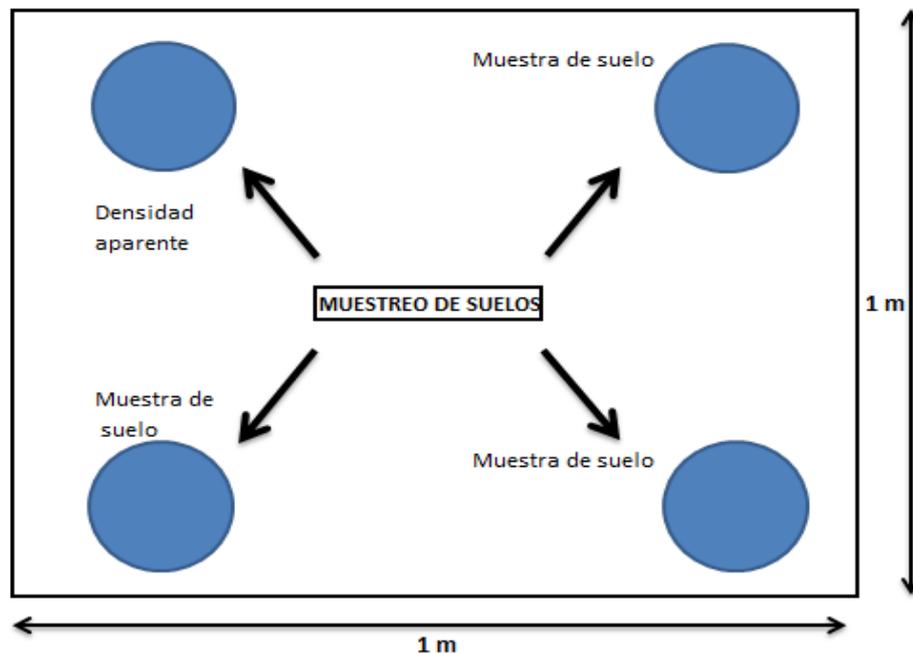
Como fase inicial se realizó un reconocimiento y un análisis del área en estudio, como base para la planificación y organización de los parámetros a instalar y evaluar.

##### 3.2.2. Fase de campo

La fase de campo se hizo teniendo en cuenta los diferentes parámetros de evaluación siguiendo la metodología del Centro Mundial Agroforestal (ICRAF, 2009).

### 3.2.2.1. Delimitación y muestreo de suelo para el análisis físico químico

Se realizó la delimitación de parcelas de 10 m x 50 m con una wincha de 50 m, cuchillo, rafia, alineando con una estaca y un machete, posteriormente se llegó a elegir en forma aleatoria dos sub parcelas cada uno de 1 m<sup>2</sup>, realizando así las calicatas correspondientes con el apoyo una pala y un pico teniendo en cuenta las dimensiones de 30 cm x 30cm x 30cm de profundidad. Asimismo se establecieron las profundidades para la obtención de las muestras en los siguientes rangos: 0 cm – 1 cm, 1 cm – 2 cm, 2 cm – 3 cm (ICRAF, 2009).



**Figura 1.** Transectos de muestreo de suelos para su análisis físico y químico en cada área de estudio.

Se recolectaron las muestras con la ayuda de bolsas de 2.00 kg y cilindros muestreador para obtener los datos fueron evaluados y luego se determinó la densidad aparente, según como muestra la Figura 1. Por cada muestreo de suelo y la cantidad de muestra se consideró 500 g por área de estudio (ICRAF, 2009). Las muestras obtenidas en campo fueron bien identificadas con su rotulo correspondiente y el peso adecuado luego fueron llevados al laboratorio de suelos para su análisis físico y químicos.

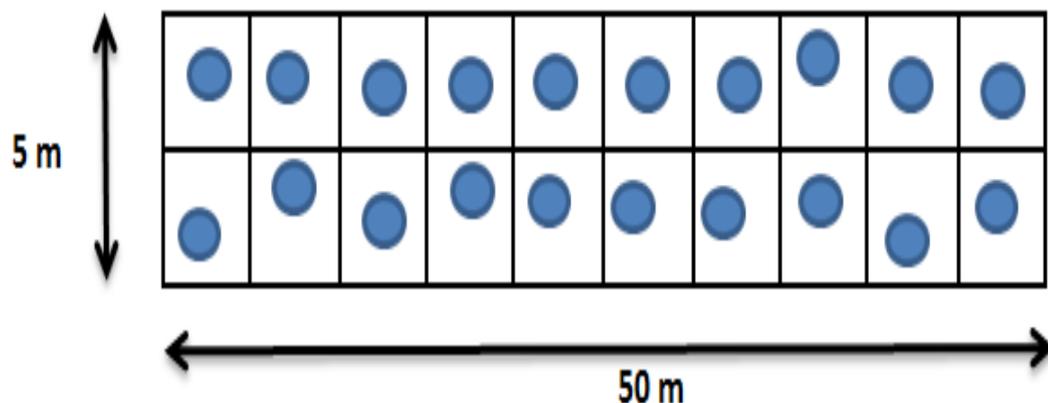
### 3.2.2.2. Muestreo de suelos para la determinación de densidad aparente

Dentro de las sub parcelas de investigación se llegó a tomar las muestras con la ayuda de un martillo y etiquetas para su identificación, teniendo en cuenta la siguiente metodología del método del cilindro muestreador, extrayendo las muestras de suelo y realizando las mediciones para calcular los datos de volumen, peso fresco del suelo y peso

seco luego fueron llevados al laboratorio de suelos para determinar su peso seco del suelo y así teniendo los resultados se calculó el carbono orgánico del suelo (MacDicken, 1997).

### 3.2.2.3. Muestreo de hojarasca para su obtención de datos

Para el muestreo de hojarasca se tomó en cuenta las hojas, flores, frutos, semillas y restos inorgánicos como ramitas y material leñoso menores a 2 cm de diámetro. Se recolectaron todos los restos que se encontraron dentro de un área de 25 cm<sup>2</sup> (50 cm x 50 cm), determinadas de forma aleatoria dentro de la subparcela temporal de 50 x 10 metros haciendo un total de 500 m<sup>2</sup> de área de estudio que estuvo dividido en parcelas de investigación de 5 m x 5 m, en el cual cada una de ellas se incorporó el cuadrante para obtener una muestra. Se tomó en cuenta el peso fresco total por cada 25 cm<sup>2</sup>, Si el peso de la muestra era mayor a la capacidad del equipo, se seleccionaría una submuestra de 200 g; y ésta sería ubicada en un recipiente plastificado debidamente rotulado e identificado para posteriormente ser trasladado al laboratorio de suelos para su análisis (MacDicken, 1997).



**Figura 2.** Diagrama de muestreo para la obtención de restos de hojarasca.

### 3.2.2.4. Muestreo de las raíces para su obtención de datos

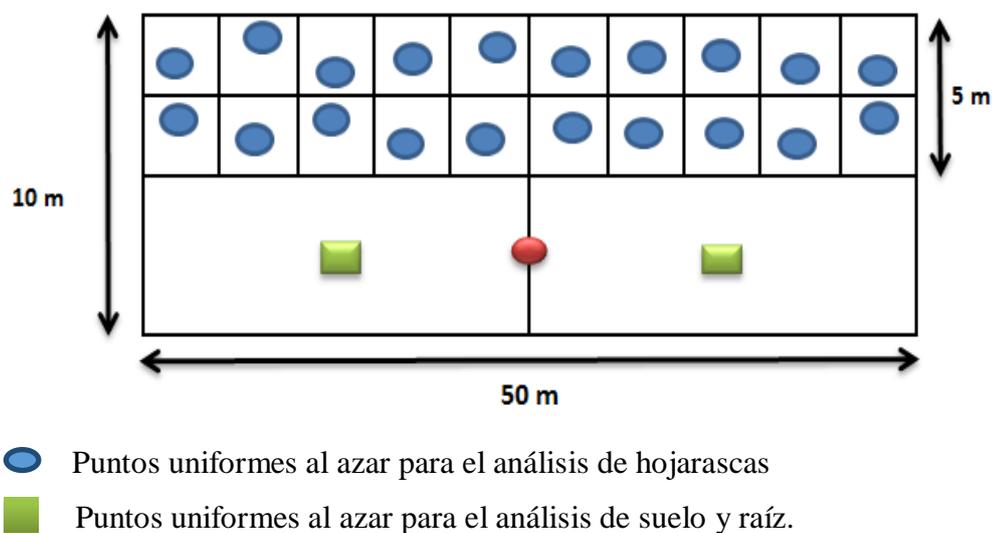
Para poder determinar el carbono almacenado en las raíces se tomó en cuenta la metodología establecida por el Centro Mundial Agroforestal (ICRAF, 2009). Dentro de ella se consideró las dimensiones de las calicatas de 30 cm x 30 cm x 30 cm de profundidad, obteniendo así muestras con la ayuda del barreno muestreador, posteriormente fueron llevados en bolsas de plástico de 1 kilo para sus análisis en el laboratorio de suelo.

### 3.2.2.5. Diagrama y diseño de muestreo

Schlegel (2001) describe en su metodología, aplicar un muestreo con un diseño completamente al azar con un método con subniveles, para ello el diseño consta de cuatro áreas de estudio de 500 m<sup>2</sup>, con dimensiones de 50 m de largo por 10 m de ancho,

estas fueron encontradas al azar dentro de las áreas vegetativas, se consideró la instalación de una sub parcela de 50 m de largo x 5 m de ancho donde se pudo recopilar la muestra de hojarascas que encontramos dispersas en 20 partes iguales.

Cabe recalcar para poder determinar el carbono orgánico en raíces se debió realizar la obtención de muestras en dos sub áreas de estudio de 25 m de largo por 10 m de ancho haciendo un total de 250 m<sup>2</sup> de intervención y se establecieron dos áreas de estudio de 1 m<sup>2</sup> identificadas aleatoriamente dentro de las parcelas de investigación y se establecieron el diseño de una calicata para su posterior análisis de evaluación (ICRAF, 2009).



**Figura 3.** Diseño y diagrama de muestreo.

### 3.2.3. Fase de gabinete

#### 3.2.3.1. Recopilación de datos para la determinación de carbono en el suelo

Para el análisis se recopilaron los datos de las muestras y estas debieron estar bien secas bajo sombra, evitando así el contacto directo con la radiación solar y las precipitaciones, para no tener posteriormente alteraciones en los resultados fueron llevados para su proceso y análisis. Para hallar el carbono total en el suelo, se aplicó un análisis químico a través del método de Walkley y Black (1934), el cuál pudo determinar la cantidad de materia orgánica (MO) que se encontró en el suelo (% MO).

Para la determinación del indicador físico (densidad aparente) se tomó en cuenta la metodología propuesta ICRAF 2009. Dichas muestras fueron pesadas en su estado natural con todo el contenido de humedad y el % de agua que se encontró en esos suelos, obteniendo los datos de peso húmedo y posteriormente fueron llevados a una estufa para su secado correspondiente a una temperatura de 70 °C y se pudo lograr los resultados en peso seco para su cálculo y determinación de ello.

### **3.2.3.2. Recopilación de datos para la determinación de carbono en hojarasca**

Con la obtención de los datos se realizó el procesamiento para la determinación del carbono en hojarasca, considerando el involucramiento de la muestra en su estado natural, realizando el pesado húmedo y posteriormente fueron llevados a la estufa del laboratorio de suelo a una temperatura de 70 °C con un aproximado de 24 a 48 horas de evaluación, se obtuvo así peso seco de la misma muestra, para posteriormente ser utilizados dichos datos y poder determinar la biomasa en hojarasca (ICRAF, 2009).

### **3.2.3.3. Recopilación de datos para la determinación del carbono en las raíces**

Para poder obtener los datos del carbono en la raíz se utilizó la metodología del Centro Mundial Agroforestal (ICRAF, 2009). Donde se realizó el muestreo a través de un barreno teniendo un volumen de suelo y de los cuales solo se consideró las raíces para el análisis, teniendo en cuenta que se tiene que realizar el lavado y el tamizado de la muestra del suelo para obtener las raíces en condiciones favorables. Posterior a eso se pesó para obtener el peso húmedo y asimismo la misma muestra fue llevada a una estufa del laboratorio de suelos para su secado correspondiente a una temperatura de 70 °C con una duración de 24 a 48 horas para poder tener su peso constante, una vez obtenido el peso húmedo y el peso seco se procedió a realizar los cálculos para obtener los datos de biomasa y posteriormente se obtuvo el carbono almacenado en las raíces.

### **3.2.3.4. Determinación del carbono en el suelo y su fórmula aplicativa**

Walkley y Black (1934) describe en una de sus ecuaciones para determinar el carbono orgánico total en el suelo en toneladas por hectárea se considera los siguientes datos como % CO, densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ ) y profundidad del suelo (cm).

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

Donde:

COS : Carbono orgánico de suelo (t/ha)

% CO : % MO x 0.58 (constante).

Da : Densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ )

Ps : Profundidad del suelo (cm)

Teniendo en cuenta las unidades para determinar el carbono en el suelo esto fue considerado en kg/ha y fue convertido en unidades de t/ha, posteriormente a eso para poder determinar la densidad aparente del suelo se debió tener como dato la masa

del suelo por el volumen del cilindro muestreador y con esos datos se pudo reemplazar en la fórmula establecida por (MacDicken, 1997).

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

**Donde:**

Da : Densidad aparente

v : Volumen n

$\pi$  : 3.14159

r : Radio del cilindro

h : Altura del cilindro

MS : Masa seca.

**3.2.3.5. Fórmula para determinar el carbono en hojarascas**

Con la siguiente formula se pudo determinar el carbono en hojarascas descrita por ICRAF (2009) y para poder determinar la biomasa en hojarasca se debió tener como dato el peso húmedo menos el peso en seco.

$$Ch = \text{Biomassas} \left( \frac{t}{ha} \right) \times 0.50$$

Dónde:

Ch : Carbono en hojarascas

0.50 : Constante propuesto por IPCC.

**3.2.3.6. Fórmula para determinar el carbono en raíces**

Dentro de los parámetros para poder encontrar los datos y poder calcular el carbono total en las raíces se debio tener como dato la cantidad de biomasa en las raíces y la constante de 0.50 propuesta por el IPCC (2000).

$$Cr = \text{Biomassas} \left( \frac{t}{ha} \right) \times 0.50$$

Dónde:

Cr : Carbono en raíces

0.50 : Constante propuesto por IPCC.

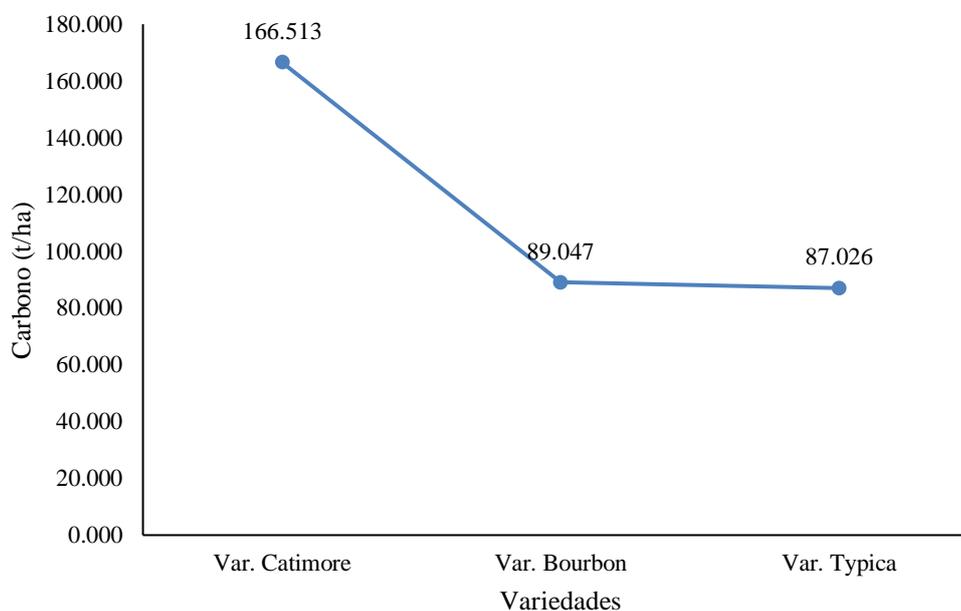
## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Carbono almacenado en el suelo de tres variedades de *C. arabica*

Según los datos procesados se determinó la cantidad de carbono almacenado en el suelo en tres variedades de especies de *C. arabica* perteneciente al distrito Monzón. Se verifica que la altitud está relacionada inversamente proporcional a la concentración de carbono total en el suelo, en la muestra 1 con la variedad de Catimor presenta una altitud de 1120 metros sobre nivel del mar (msnm). obteniendo un valor promedio de 166.513 t/ha de carbono almacenado en el suelo, seguido de la muestra 2 variedad Bourbon abarcando una altitud aproximada de 1530 msnm, siendo una cantidad promedio 87.026 t/ha de carbono almacenado en el suelo y por último, la muestra 3 con la variedad de Typica con una altitud considerable de 1633 msnm, teniendo una contenido promedio de carbono en el suelo de 89.047 t/ha.

**Tabla 2.** Cantidad de carbono almacenado en el suelo de tres variedades de *C. arabica*.

Distrito	Muestra	Rango de altitudes (msnm)	Altitud (msnm)	Carbono orgánico en el suelo (t/ha)
Monzón	Muestra 1: variedad Catimor	1100 -1150	1120	166.513
Monzón	Muestra 2: variedad Bourbon	1500 - 1550	1530	89.047
Monzón	Muestra 3: variedad Typica	1600 -1650	1633	87.026



**Figura 4.** Relación de carbono/hectárea en el suelo en tres variedades de *C. arabica*.

Como se detalla en la Tabla 2, se menciona que a mayor altitud mayor es la concentración de carbono en el suelo esto influye también según la especie de cobertura instalada en esa parcela de investigación. Según Cardona (2005) describe que la materia orgánica se puede encontrar de forma creciente o decreciente, donde está íntimamente relacionado con los factores climáticas y ambientales de cada área de estudio, lo que detalla una variación del 73 %, considerando la altitud y el tipo de cultivo que se encuentre instalado. Yepes (2011) menciona que la concentración de carbono orgánico acumulado en el suelo en bosques naturales es muy representativa lo cual esto presenta una relación inversa con el relieve y el tipo de cultivo.

#### 4.2. Cantidad de carbono almacenado en hojarasca de tres variedades de *C. arabica*

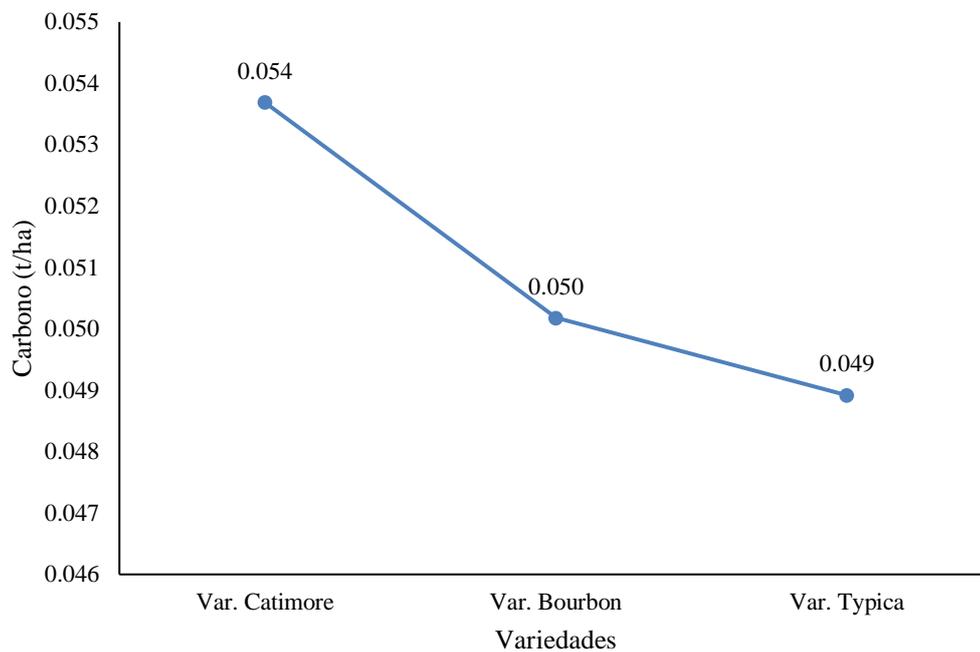
El carbono total almacenado en hojarasca en tres variedades de *C. arabica* en la provincia de Huamalíes distrito de Monzón. Se observa que en la variedad de Catimor muestra 1 contiene mayor cantidad de carbono en hojarasca con un valor de 0.05369 t/ha, considerando una altitud promedio de 1120 msnm, seguido de la variedad de Bourbón muestra 2 también del distrito de Monzón que considera altitud promedio de 1530 msnm, con un contenido de carbono almacenado de 0.05018 t/ha y por último la variedad de Typica muestra 3 del distrito de Monzón que abarca un promedio de altitud de 1633 msnm, con un contenido de carbono almacenado de 0.04892 t/ha en menor contenido a las demás variedades.

**Tabla 3.** Cantidad de carbono acumulado en hojarasca de tres variedades de *C. arabica*.

Distrito	Muestra	Rango de altitudes (msnm)	Altitud (msnm)	Carbono orgánico en hojarasca (t/ha)
Monzón	Muestra 1: variedad Catimor	1100 -1150	1120	0.05369
Monzón	Muestra 2: variedad Bourbón	1500 - 1550	1530	0.05018
Monzón	Muestra 3: variedad Typica	1600 -1650	1633	0.04892

En el proceso de la investigación se obtuvo datos y resultados comparativos como se refleja Tabla 3 y Figura 5 se puede identificar que la concentración mayor de carbono en la hojarasca se encuentra presente en el distrito de Monzón con la muestra 1 con la variedad de Catimore y obteniendo una altitud de 1120 msnm y en menor concentración de carbono se encuentra la muestra 3 que presenta una altitud promedio de 1633 msnm.

Según Montagnini (2015) hacen de conocimiento que la concentración de carbono en la hojarasca va depender de las condiciones climáticas de las zonas de intervención. y teniendo en cuenta que las especies arbustivas sean heterogéneas. La concentración de carbono en una especie vegetativa responde a la composición florística, a su estructura, a la influencia del clima, su fauna y la presencia del ser humano en condiciones de manejo, aprovechamiento y cambio de uso del suelo; considerando también la composición química de las plantas, su estructura física, las interrelaciones con otros organismos, edad, fisiología, sanidad, capacidad de absorción de nutrientes entre otros.



**Figura 5.** Relación de carbono/hectárea en hojarasca en tres variedades de *C. arabica*.

#### 4.3. Cantidad de carbono almacenado en raíces de tres variedades de *C. arabica*

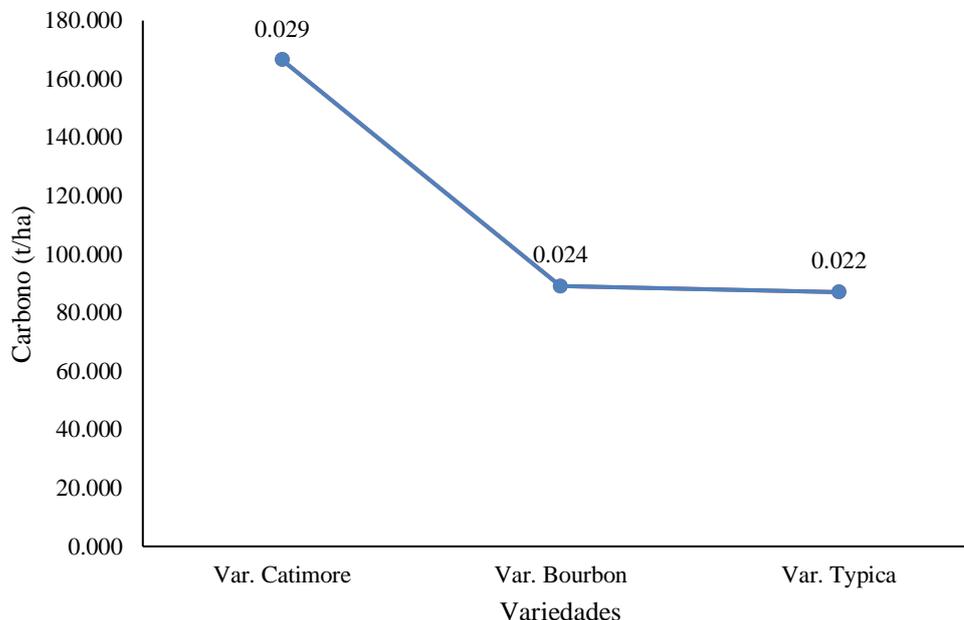
Teniendo los datos para el procesamiento para la determinación del carbono en la raíz se realizó el procesamiento y se determinó que la muestra 1 de la variedad Catimor presenta 0.029 t/ha de carbono en las raíz y una altitud promedio de 1120 msnm, siendo mayor que la muestra 2 y muestra 3, dentro de la variedad de Bourbon tiene una altitud considerable de 1530 msnm con un contenido de 0.024 t/ha de carbono almacenado, seguido la muestra numero 3 con la variedad de Typica tiene una altitud considerable de 1633 msnm con una cantidad de carbono almacenado en la raíz de 0.022 t/ha, de los cuales siendo la variedad donde presenta menor cantidad de concentración de carbono que las demás muestras.

**Tabla 4.** Cantidad de carbono almacenado en raíces de tres variedades de *C. arabica*.

Distrito	Muestra	Rango de altitudes (msnm)	Altitud (msnm)	Carbono orgánico en raíces (t/ha)
Monzón	Muestra 1: variedad Catimor	1100 -1150	1120	0.029
Monzón	Muestra 2: variedad Bourbon	1500 - 1550	1530	0.024
Monzón	Muestra 3: variedad Typica	1600 -1650	1633	0.022

El carbono almacenado en las raíces se describe y se detalla en la Tabla 5 y Figura 7, donde se alcanzó mayor concentración de carbono almacenado en la variedad de Catimor comparado a las dos especies de *C. arabica*, lo cual dicha especie presenta una altitud de 1120 msnm superando a las dos especies que son parte de la investigación y que en la muestra 3 de la especie de café en la variedad Typica presento una altitud baja de 1633 msnm y una concentración baja también de carbono almacenado en las raíces del *C. arabica*.

Los cálculos de biomasa radicular que se describen a través de muestreos arrojan diferentes resultados dependiendo de la metodología utilizada, por lo tanto, esto depende al tamaño de la muestra, profundidad de muestreo, como a la época y el tiempo del año en que se recopila la muestra, incorporándose a estas variaciones se encuentra el error de procesamiento de la muestra (Dauber (2000)).



**Figura 6.** Relación de carbono/hectárea en raíces en tres variedades de *C. arabica*.

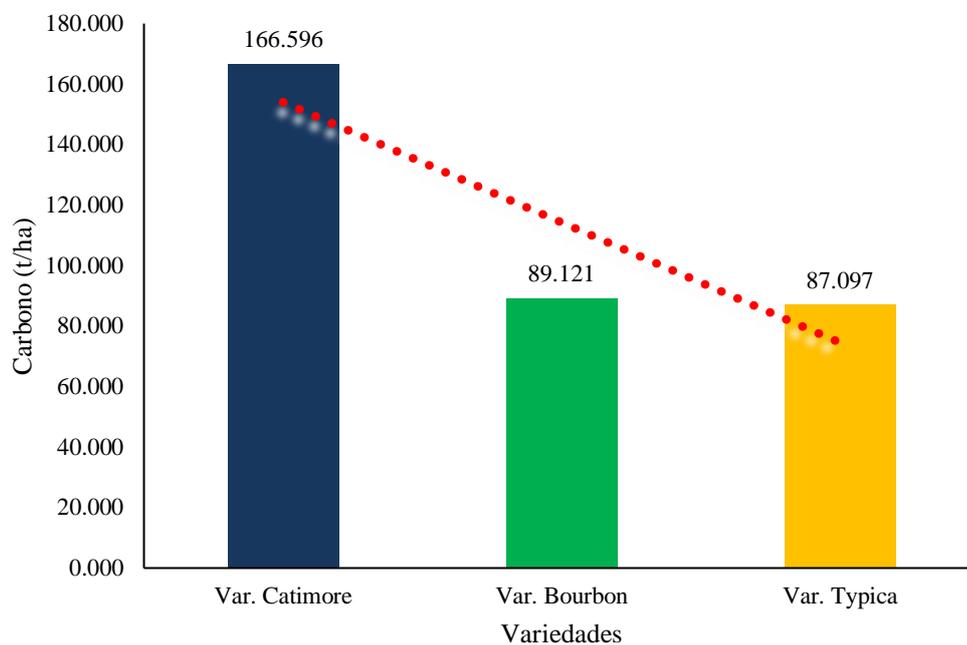
#### 4.4. Total de carbono acumulado en tres variedades de *C. arabica*

El carbono acumulado en el suelo, hojarasca y raíces en las tres áreas productivas de *C. arabica* en las variedades de Catimor, Bourbon y Typica, se llegó a identificar; que en la altitud promedio de la muestra 1 fue de 1120 msnm, con un contenido de

carbono total almacenado de 166.596 t/ha, seguido la variedad de Bourbon que tiene una altitud considerable de 1530 msnm con un contenido de carbono total almacenado de 89.121 t/ha, seguido la variedad Typica que tiene una altitud considerable de 1633 msnm con un contenido de carbono total almacenado de 87.097 t/ha, teniendo en cuenta que la variedad de Typica presenta menor concentración de carbono total esto se debe a que hay muchos factores que influyen como la altitud y la cobertura arbustiva que se encuentre instalada dentro de esa área de investigación.

**Tabla 5.** Total de carbono orgánico almacenado en tres variedades de *C. arabica*.

Estrato	Rango de altitudes (msnm)	Altitud (msnm)	Carbono orgánico (t/ha)			
			Suelo	Raíces	Hojarasca	Total
Variedad Catimor	1100 -1150	1120	166.5130	0.0290	0.0537	166.5960
Variedad Bourbon	1500 - 1550	1530	89.0470	0.0240	0.0502	89.1210
Variedad Typica	1600 -1650	1633	87.0260	0.0220	0.0489	87.0970



**Figura 7.** Relación de carbono/hectárea total almacenado en tres variedades de *C. arabica*.



## V. CONCLUSIONES

1. La mayor concentración de almacenamiento de carbono orgánico en el suelo fue 166.513 t/ha que corresponde a la muestra 1 de la variedad de Catimor.
2. La mayor concentración de carbono orgánico que se encuentra concentrado en hojarasca fue 0.05369 t/ha que corresponde a la muestra 1 de la variedad de Catimor.
3. La mayor concentración de carbono orgánico almacenado en la biomasa de la raíz fue 0.029 t/ha que corresponde a la muestra 1 de la variedad de Catimor.
4. La mayor consideración en almacenamiento de carbono total en el suelo, hojarasca y raíces en las tres especies de *C. arabica* fue la variedad Catimor siendo la muestra 1 con un valor de 166.596 t/ha, correspondiente al distrito de Monzón.

## **VI. PROPUESTAS A FUTURO**

1. Realizar el transporte necesario de las muestras de suelo para ser evaluadas y teniendo en cuenta el tiempo necesario de traslado para evitar así su contaminación.
2. Priorizar balanzas calibradas con un décimo de gramo en precisión la obtención de datos y cálculos para la determinación de la densidad aparente, peso seco de raíces y hojarasca.
3. Seguir las investigaciones en relación con el carbono orgánico almacenado en otras plantaciones y otras altitudes representativas.

## VII. REFERENCIAS

- Alegre, J., Ricse, A., Arévalo, L., Barbarán, J. y Palm C. (2001). Reservas de carbono en diferentes sistemas de uso de la tierra en la amazonía peruana. Consorcio para el Desarrollo Sostenible de Ucayali (CODESU) Boletín informativo. 12: 8-9.
- Arevalo, L., Alegre, L., y Palm, C. (2003). Manual de determinación de las reservas de carbono en los diferentes sistemas de uso de tierras en Perú. ICRAF, CODESU, INIA, INRENA. Ediciones Gráfica Miguel Álvarez.
- Arostegui, A. (1974). Estudio tecnológico de maderas del Perú (Zona Pucallpa). Vol. I. Características tecnológicas y usos de la madera de 145 especies del País. Lima, Perú. 483 p.
- Ávila, G., Jiménez, F., Beer, J., Gómez, M., y Ibrahim, M. (2001). Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*, 8(30), 32-40.
- Baldoceda, R. (1991). Silvicultura de la Bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mill). Temas forestales. Pucallpa. 9p.
- Baldoceda, R y Mercado, G. (2001). Valoración económica del servicio ambiental de secuestro de carbono en la zona de Neshuya - Curimaná (Pucallpa). En: Valoración económica de la biodiversidad biológica y servicios ambientales en el Perú. Proyecto INRENA – BIOFOR.
- Barbaran, J. (2000). Determinación de la Biomasa y carbono en los principales sistemas de uso de la tierra en la zona de campo verde. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad nacional de Ucayali. Pucallpa. Perú. 54p.
- Beer, J. (1988). Litter production and nutrient cycling in coffee (*Coffea arabica*) or cacao (*Theobroma cacao*) plantations with shade trees. *Agroforestry Systems* 7: 103-114
- Bertsch F. (1998). La fertilidad de los suelos y su manejo. ACCS. San José, Costa Rica. 157 p.
- Brack, L. y Zarucchi, J. (1993). Catálogo de las Angiospermas y Gimnospermas del Perú. USA, Missouri Botanical Garden. 1244p.
- Brown, S., y Lugo, A. (1982). The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle. *Biotropica*. 14, 161-187.
- Brown S., y Lugo, A. (1984). Biomass of tropical forests: A new estimate based on forest volumens. *Science*, 223, 1290-1293.

- Brown, S. (1996). A primer for estimating biomass and change in tropical forest. FAO. 120p.
- Cairns, M., Brown, S., Helmer, E., y Baumgardner, G. (1997). Root biomass location in the world's upland forest. *Oecologia*, 1-11p.
- Cardona, CDA; Sadeghian, KHS. (2005) Ciclo de nutrientes y actividad microbiana en cafetales a libre exposición solar y con sombrero de Inga spp. CENICAFE 56(2):127–141.
- Carvajal F. 1985. Potassium nutrition of coffee. In: Potassium in agriculture. Ed. by R.D. Munson. Madison, Wis., ASA-CSSA-SSSA.
- Chacín, F. (1998). Análisis de regresión y superficie de respuesta. Comisión de biblioteca, información, documentación y publicaciones. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía. Maracay, Venezuela. 279 p.
- Dauber, E., Terán, J. y Guzmán, R. (2000). Estimaciones de biomasa y carbono en bosques naturales de Bolivia. Revista Forestal Iberoamericana, 1(1). Recuperado de <http://www.forest.ula.ve/rforibam/archivos/DOC2.pdf>
- Dupouey, J.-L., E. Dambrine, J. D. Laffite, and C. Moares. 2002. Irreversible impact of past land use on forest soils and biodiversity. *Ecology* 83:2978–2984.
- Encarnación, F. (1983). Nomenclatura de las especies forestales comunes en el Perú. Proyecto PNUD/FAO/81/002. Trabajo N° 7. Lima, Perú. 149 p.
- Finegan, B. (1992). El potencial de manejo de los bosques húmedos secundarios neotropicales de tierras bajas. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 27 p.
- Fassbender HW, Alpízar L Heuveldop J, Fölster H, Enríquez G (1988) Modelling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao* L.) with laurel (*Cordia alliodora*) and poro (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. III. Cycles of organic matter and nutrients. *Agrofor. Syst.* 6: 49-62.
- Fournier, L. 1988. El cultivo del café (*Coffea arabica* L.) al solo a la sombra: un enfoque agronómico y eco fisiológico. *Agronomía Costarricense*. 12:131-146.
- Espinoza, Y. 2005. Secuestro del carbono en el suelo. CENIAP HOY. Venezuela. 07:254 – 260.
- Estrada, P. (2001). Cambio Climático Global: Causas y Consecuencias. 16 ed. México. 11 p.
- FAO. 2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Basado en el trabajo de Michael Robert. Institut national de recherche agronomique. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Paris, Francia. 62 p.

- Gallardo, A. (2001). Descomposición de hojarasca en ecosistemas mediterráneos. Páginas 95-122 en R. Zamora, y F.I. Pugnaire (Editores) Ecosistemas mediterráneos. Análisis funcional. Texto Universitarios n°32, CSIC y AEET. Castillo y Edisart, S. L.
- Gómez C. (2000). Factores climáticos y distribución de especies vegetales, 2da Edición. Editorial Omega. Barcelona – España.
- Holdridge. (1987). Ecología basada en zonas de vida. 3 ed. San José, Costa Rica. Servicio Editorial IICA. 216 p.
- IIAP. (2002). Estudio de línea de base de secuestro de carbono en la cuenca del río Nanay. Iquitos-Perú. 281p
- IIAP. (2003). Propuesta de zonificación ecológica y económica de la cuenca del río Aguaytía. Pucallpa, Perú. 125p.
- ICRAF. (Centro Mundial Agroforestal). (1998). Respuesta a nuevas demandas tecnológicas, fortalecimiento de la investigación en agroindustria y el manejo de recursos naturales. Informe final Convenio BID-ICRAF ATN/SF – 5209. 215p.
- ICRAF (Centro Mundial Agroforestal). (2009). Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. Lima, Perú. 79 p.
- INIA. (1996). Manual de identificación de especies forestales de la Sub-Región Andina, INIA – OIMT. PD 150/91. Lima, Perú. 489p.
- IPCC. (2000). Informe especial del uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura para responsables de políticas globales. Informe especial del Grupo de trabajo III del IPCC, 2000.
- Jiménez, E; Martínez, P. 1979. Estudios ecológicos del agroecosistema cafetalero: II producción de materia orgánica en diferentes tipos de estructura. BIOTICA 4 (3): 109–126.
- Lampkin, N. 2001. Agricultura ecológica. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 743 pp.
- MacDicken, K. (1997). A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Forest Carbon Monitoring Program. Winrock International Institute for Agricultural Development (WRI).
- Marquez T. 2005. Cálculo de biomasa y captura de carbono en cuatro sistemas agroforestales diferentes de café con sombra en la estación experimental del Instituto de Cultivos Tropicales. Perú. 60 p.
- Martínez, H.; Fuentes, E.; Acevedo H. 2008 Carbono Orgánico y Propiedades Del Suelo, Facultad de Ciencias Agronómicas - Universidad de Chile. Pp 69-76.

- MINAM (Ministerio del Ambiente) 2021 Memoria Descriptiva Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú.
- Montagnini, F; Somarriba, E; Murgueitio, E; Fassola, H; Eibl, B. 2015. Sistemas Agroforestales. Funciones Productivas, Socioeconómicas y Ambientales. Serie técnica. Informe técnico 402. CATIE, Turrialba, Costa Rica. Editorial CIPAV, Cali, Colombia. 454p.
- Montenegro, GEJ. 2005. Efecto de la dinámica de la materia de nutrientes de la biomasa de tres tipos de árboles de sombra en sistemas de manejo de café orgánico y convencional. Tesis M.Sc., Turrialba, CR, CATIE. 67 p.
- Muschler, R. and A. Bonnemann 1997. Potentials and limitations of agroforestry for changing land-use in the Tropics: experiences from Central America. *Forest Ecology and Management*. 91: 61-73.
- Rios. A. J. 2007. Almacenamiento de carbono e valoración económica en sistemas de uso – da - terra comparados con o de cultivo da coca (*Erythroxylon Coca Lam*) no distrito de José Crespo y Castillo, Perú – Belem (PA) – Brasil 2007. 125p.
- Roncal, S.; Soto, L.; Castellanos, J.; Ramírez, N., y De Jong, B. (2008). Sistemas agroforestales y almacenamiento de carbono en comunidades indígenas de Chiapas, México. *Interciencia*, 33(3), 200–206.
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú) 2013 Evaluación de los modelos CMIP5 del IPCC en el Perú: Proyecciones al año 2030 en la Región Huánuco
- SERNA (Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente). (1997). Perfil Ambiental de Honduras. Tegucigalpa, Honduras, SERNA. 25 p.
- Schlegel, B, Gayoso, J., y Guerra, J. (2001). Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales. Valdivia, Chile. 17 p.
- Steppler, HA y Nair, PKR (Eds). ICRAF, Nairobi, (1987) Agrosilvicultura: una década de desarrollo.
- Vaast, P; Snoeck, D. 1999. Hacia un manejo sostenible de la materia orgánica y de la fertilidad biológica de los suelos cafetaleros. In Bertrand, B; Rapidel, B. eds. Desafíos de la caficultura en Centroamérica. San José, Costa Rica. CIRAD, IICA. p.139 – 169.
- Walkley A, Black A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci*. 37:29-38.

- Yepes, A. P., Navarrete, D. A., Duque, A. J., Phillips, J. F., Cabrera, K. R., Álvarez, E., & Ordoñez, M. F. (2011). Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbono en Colombia [PDF version]. Retrive from: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/Bvirtual/022101/022101.htm>.
- Zech, W., Wilcke, W. y Valarezo, C. (1999). Influencia del uso del suelo en las propiedades del suelo y de elementos en los bosques montañosos del Sur del Ecuador. Informe de los resultados del periodo 1997 – 1999. Loja, Ecuador.

## **VIII. ANEXO**

**Tabla 6.** Resultados de carbono almacenado en hojarasca: registro de datos para obtención de Biomasa de hojarasca de *C. arabica* caserío de Mata palo (distrito Monzón) muestra 1.

<b>Estrato de Muestra</b>	<b># Subparcela</b>	<b>Peso fresco (g)</b>	<b>Peso seco (g)</b>	<b>Biomasa (g)</b>	<b>Biomasa (kg)</b>	<b>CH (t/ha)</b>
Estrato 1	B1	200	80.40	119.60	0.1196	0.0598
	B2	200	113.20	86.80	0.0868	0.0434
	B3	200	95.00	105.00	0.1050	0.0525
	B4	200	91.30	108.70	0.1087	0.0544
	B5	200	85.20	114.80	0.1148	0.0574
	B6	200	82.10	117.90	0.1179	0.0590
	B7	200	78.40	121.60	0.1216	0.0608
	B8	200	85.40	114.60	0.1146	0.0573
	B9	200	100.10	99.90	0.0999	0.0500
	B10	200	94.20	105.80	0.1058	0.0529
	B11	200	132.50	67.50	0.0675	0.0338
	B12	200	127.60	72.40	0.0724	0.0362
	B13	200	104.20	95.80	0.0958	0.0479
	B14	200	78.40	121.60	0.1216	0.0608
	B15	200	88.50	111.50	0.1115	0.0558
	B16	200	87.10	112.90	0.1129	0.0565
	B17	200	50.60	149.40	0.1494	0.0747
	B18	200	110.60	89.40	0.0894	0.0447
	B19	200	85.30	114.70	0.1147	0.0574
	B20	200	82.20	117.80	0.1178	0.0589
<b>Promedio</b>						<b>0.0537</b>

**Tabla 7.** Resultados de carbono almacenado en hojarasca: registro de datos para obtención de Biomasa de hojarasca de *C. arabica* caserío de Mata palo (distrito Monzón) muestra 2.

<b>Estrato de Muestra</b>	<b># Subparcela</b>	<b>Peso fresco (g)</b>	<b>Peso seco (g)</b>	<b>Biomasa (g)</b>	<b>Biomasa (kg)</b>	<b>CH (t/ha)</b>
Estrato 2	B1	200	112.10	87.90	0.0879	0.0440
	B2	200	95.20	104.80	0.1048	0.0524
	B3	200	88.20	111.80	0.1118	0.0559
	B4	200	101.50	98.50	0.0985	0.0493
	B5	200	126.80	73.20	0.0732	0.0366
	B6	200	102.40	97.60	0.0976	0.0488
	B7	200	100.70	99.30	0.0993	0.0497
	B8	200	112.60	87.40	0.0874	0.0437
	B9	200	122.50	77.50	0.0775	0.0388
	B10	200	90.40	109.60	0.1096	0.0548
	B11	200	88.80	111.20	0.1112	0.0556
	B12	200	110.40	89.60	0.0896	0.0448
	B13	200	98.20	101.80	0.1018	0.0509
	B14	200	100.60	99.40	0.0994	0.0497
	B15	200	78.80	121.20	0.1212	0.0606
	B16	200	116.70	83.30	0.0833	0.0417
	B17	200	88.70	111.30	0.1113	0.0557
	B18	200	82.80	117.20	0.1172	0.0586
	B19	200	85.40	114.60	0.1146	0.0573
	B20	200	90.20	109.80	0.1098	0.0549
<b>Promedio</b>						<b>0.0502</b>

**Tabla 8.** Resultados de carbono almacenado en hojarasca: registro de datos para obtención de Biomasa de hojarasca de *C. arabica* caserío de Mata palo (distrito Monzón) muestra 3.

<b>Estrato de Muestra</b>	<b># Subparcela</b>	<b>Peso fresco (g)</b>	<b>Peso seco (g)</b>	<b>Biomasa (g)</b>	<b>Biomasa (kg)</b>	<b>CH (t/ha)</b>
Estrato 1	B1	200	115.40	84.60	0.0846	0.0423
	B2	200	101.30	98.70	0.0987	0.0494
	B3	200	92.00	108.00	0.1080	0.0540
	B4	200	110.10	89.90	0.0899	0.0450
	B5	200	120.40	79.60	0.0796	0.0398
	B6	200	88.20	111.80	0.1118	0.0559
	B7	200	85.30	114.70	0.1147	0.0574
	B8	200	118.20	81.80	0.0818	0.0409
	B9	200	115.10	84.90	0.0849	0.0425
	B10	200	88.30	111.70	0.1117	0.0559
	B11	200	85.20	114.80	0.1148	0.0574
	B12	200	100.60	99.40	0.0994	0.0497
	B13	200	106.40	93.60	0.0936	0.0468
	B14	200	96.30	103.70	0.1037	0.0519
	B15	200	86.20	113.80	0.1138	0.0569
	B16	200	105.80	94.20	0.0942	0.0471
	B17	200	88.80	111.20	0.1112	0.0556
	B18	200	106.20	93.80	0.0938	0.0469
	B19	200	122.20	77.80	0.0778	0.0389
	B20	200	111.30	88.70	0.0887	0.0444
<b>Promedio</b>						<b>0.0489</b>



**Tabla 11.** Resultados de carbono almacenado en suelo: Registro de datos para obtención de Carbono almacenado en el suelo caserío de Mata palo (distrito Monzón) muestra 3.

<b>Cuadrante A</b>							
Subparcela	Peso (g)		Submuestra (g)	Densidad aparente	(%)		CR (t/ha)
	Fresco	Seco			MO	CO	
C1 (0 a 10 cm)	90.80	77.56	2.00	0.28	3.20	1.86	40.89
C2 (10 a 20 cm)	90.60	74.16	2.00	0.27	2.56	1.49	29.91
C3 (20 a 30 cm)	90.40	68.20	2.00	0.25	1.92	1.11	18.97
Suma							89.77
<b>Cuadrante B</b>							
C1 (0 a 10 cm)	106.04	94.02	2.00	0.34	2.24	1.30	42.06
C2 (10 a 20 cm)	104.74	90.10	2.00	0.33	1.92	1.11	33.11
C3 (20 a 30 cm)	90.32	69.55	2.00	0.26	1.28	0.74	13.15
Suma							88.33
<b>Promedio</b>							89.05

**Tabla 12.** Resultados de carbono almacenado en raíces: Registro de datos para obtención de Biomasa radicular de *C. arabica* variedad Catimor distrito Monzón (muestra 1).

<b>Muestra 1A</b>					
Subparcela	Peso (g)		Biomasa		CR (t/ha)
	Fresco	Seco	(g)	(kg)	
C1 (0 a 10 cm)	0.80	0.23	0.57	0.0006	0.0003
C2 (10 a 20 cm)	5.60	1.60	4.00	0.0040	0.0020
C3 (20 a 30 cm)	74.70	21.34	53.36	0.0534	0.0267
Suma					0.0290
<b>Muestra 1B</b>					
C1 (0 a 10 cm)	0.60	0.17	0.43	0.0004	0.0002
C2 (10 a 20 cm)	6.20	1.77	4.43	0.0044	0.0022
C3 (20 a 30 cm)	75.20	21.49	53.71	0.0537	0.0269

Suma	0.0293
<b>Promedio</b>	0.0292

**Tabla 13.** Resultados de carbono almacenado en raíces: Registro de datos para obtención de Biomasa radicular de *C. arabica* variedad Bourbon distrito Monzón (muestra 2).

<b>Muestra 2A</b>					
<b>Subparcela</b>	<b>Peso (g)</b>		<b>Biomasa</b>		<b>CR (t/ha)</b>
	<b>Fresco</b>	<b>Seco</b>	<b>(g)</b>	<b>(kg)</b>	
C1 (0 a 10 cm)	0.50	0.14	0.36	0.0004	0.0002
C2 (10 a 20 cm)	1.10	0.31	0.79	0.0008	0.0004
C3 (20 a 30 cm)	65.60	18.74	46.85	0.0469	0.0234
Suma					0.0240
<b>Muestra 2B</b>					
C1 (0 a 10 cm)	0.50	0.14	0.36	0.0004	0.0002
C2 (10 a 20 cm)	1.10	0.31	0.79	0.0008	0.0004
C3 (20 a 30 cm)	68.10	19.46	48.64	0.0486	0.0243
Suma					0.0249
<b>Promedio</b>					0.0245

**Tabla 14.** Resultados de carbono almacenado en raíces: Registro de datos para obtención de Biomasa radicular de *C. arabica* variedad Typica distrito Monzón (muestra 3).

<b>Muestra 3A</b>					
<b>Subparcela</b>	<b>Peso (g)</b>		<b>Biomasa</b>		<b>CR (t/ha)</b>
	<b>Fresco</b>	<b>Seco</b>	<b>(g)</b>	<b>(kg)</b>	
C1 (0 a 10 cm)	0.62	0.18	0.44	0.0004	0.0002
C2 (10 a 20 cm)	0.66	0.19	0.47	0.0005	0.0002
C3 (20 a 30 cm)	59.20	16.91	42.29	0.0423	0.0211
Suma					0.0215
<b>Muestra 3B</b>					
C1 (0 a 10 cm)	0.79	0.23	0.56	0.0006	0.0003
C2 (10 a 20 cm)	0.72	0.21	0.51	0.0005	0.0003
C3 (20 a 30 cm)	61.30	17.51	43.79	0.0438	0.0219

---

Suma

0.0%

**Promedio**

0.0220

---



**Figura 8.** Realizando el análisis del suelo y codificando las muestras.



**Figura 9.** Estableciendo las muestras para su titulación.



**Figura 10.** Selección de las dos muestras para su análisis.



**Figura 11.** Realizando el conteo para titulación.

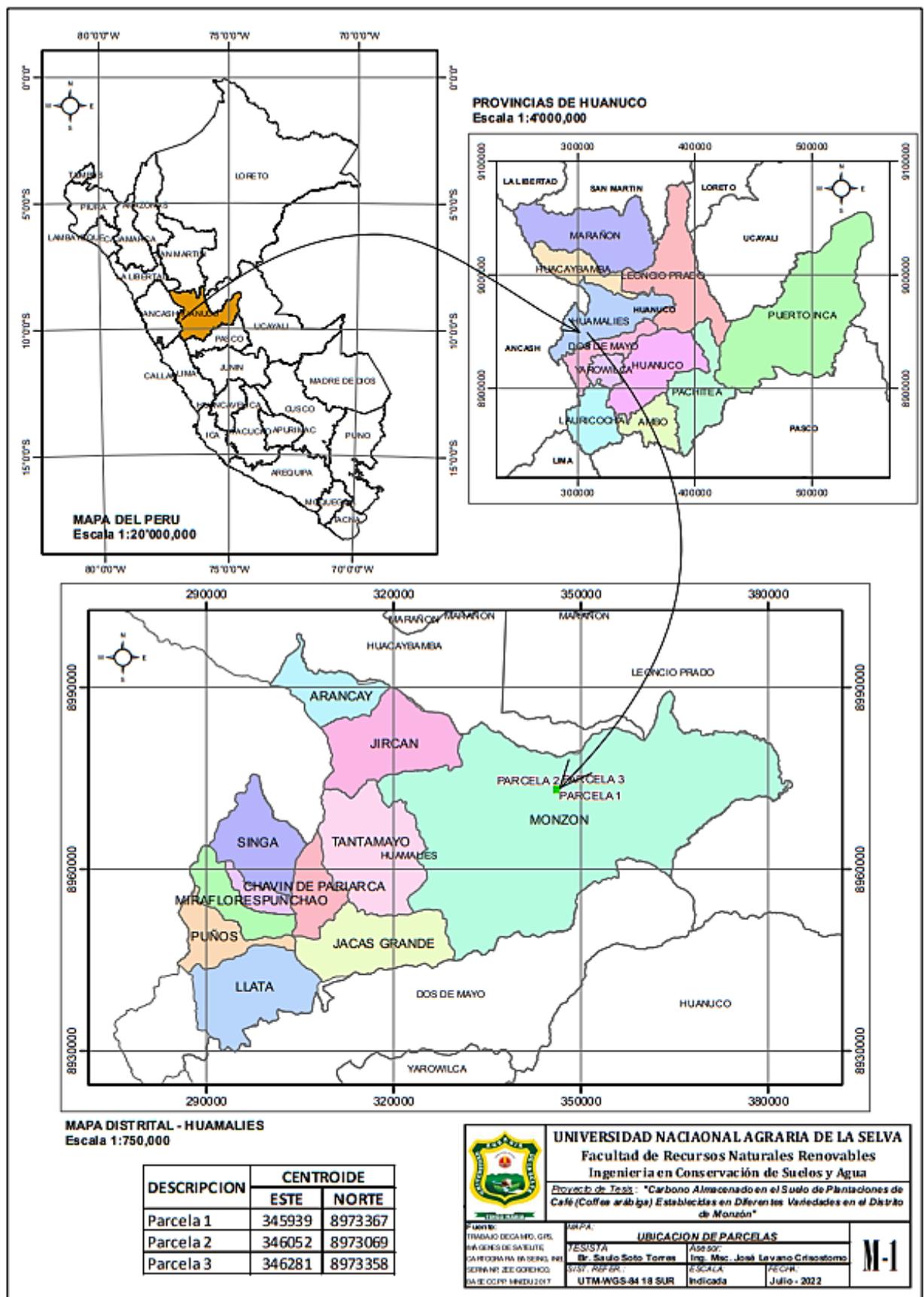


Figura 12. Plano de ubicación de la zona de estudio.