

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**ESCUELA DE POSTGRADO**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROECOLOGÍA**

**MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL**



**INCORPORACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN EL SUELO EN UN  
SISTEMA AGROFORESTAL INSTALADO EN ÁREAS DEGRADADAS EN  
RICARDO PALMA – TINGO MARIA 2019.**

**Para optar el grado de:**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROECOLOGIA  
MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL**

**ALEGRIA ZEGARRA ANDREA SOLEDAD**

**TINGO MARIA - PERU**

**2021**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**UNIDAD DE POSGRADO**  
**DIRECCIÓN**



“AÑO DEL BICENTENARIO DEL PERÚ: 200 AÑOS DE INDEPENDENCIA”

**ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS**  
**Nro. 002-2021-UPG-FRNR-UNAS**

En la ciudad universitaria, siendo las 04:00 p.m. del viernes 17 de diciembre de 2021, reunidos virtualmente vía Microsoft Teams, se instaló el Jurado Calificador a fin de proceder a la sustentación de la tesis titulada:

**“INCORPORACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN EL SUELO POR *Inga edulis* “huaba” SEMBRADO ALTA DENSIDAD EN SUELOS DEGRADADOS EXCOCALES EN RICARDO PALMA”**

A cargo de la candidata al Grado de Maestro en Ciencias en Agroecología, mención: Gestión Ambiental **ALEGRÍA ZEGARRA, ANDREA SOLEDAD**.

Luego de la exposición y absueltas las preguntas de rigor, el Jurado Calificador procedió a emitir su fallo declarando **APROBADO** con el calificativo de **MUY BUENO**

Acto seguido, a horas 06:00 p.m. el presidente dio por culminada la sustentación; procediéndose a la suscripción de la presente acta por parte de los miembros del jurado, quienes dejan constancia de su firma en señal de conformidad.

Dr. LUCIO MANRIQUE DE LARA SUAREZ  
Presidente del Jurado

M.Sc. JOSÉ LUIS PAREDES SALAZAR  
Miembro del Jurado

Ing. M.Sc. EDILBERTO DÍAZ QUINTANA  
Miembro del Jurado

Dr. JOSÉ KALIÓN GUERRA LU  
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° 052 - 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:


Escuela de Posgrado UNAS

Tipo de documento:

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

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
INCORPORACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN EL SUELO EN UN SISTEMA AGROFORESTAL INSTALADO EN ÁREAS DEGRADADAS EN RICARDO PALMA – TINGO MARIA 2019.	ALEGRIA ZEGARRA ANDREA SOLEDAD	<b>24%</b> <b>Veinticuatro</b>

Tingo María, 10 de marzo de 2023

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



## VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN OFICINA DE INVESTIGACIÓN

### UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO, INVESTIGACIÓN DOCENTE Y TESISISTA

#### I. DATOS GENERALES DE POSGRADO

**Universidad** : Universidad Nacional Agraria de la Selva  
**Maestría** : Ciencias en Agroecología

**Mención** : Gestión Ambiental

**Título de Tesis** : **INCORPORACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN EL SUELO EN UN SISTEMA AGROFORESTAL INSTALADO EN ÁREAS DEGRADADAS EN RICARDO PALMA – TINGO MARIA 2019.**

**Autor** : Andrea Soledad Alegria Zegarra

**Asesor** : Dr. José Kalión Guerra Lu

**Programa de Investigación** : Gestión Ambiental

**Línea (s) de Investigación** : Adaptación al cambio climático

**Eje temático de investigación** : Fijación, captura y almacenamiento de carbono

**Lugar de Ejecución** : Leoncio Prado

**Duración** : **Fecha de Inicio: Mayo 2019**  
**Término : Julio 2020**

**Financiamiento** : **Propio: S/. 8, 000.00**

.....  
Ing. Alegría Zegarra, Andrea Soledad  
Tesisista

.....  
Dr. Guerra Lu, José Kalión  
Asesor

## DEDICATORIA

A ti mi **Dios** pues me diste la fuerza y las razones para seguir adelante, y me diste la salud y sabiduría para alcanzar esta meta.

A mis padres Temistocles y María por su comprensión y ayuda en momentos malos y buenos, y que me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño, y todo ello con una gran dosis de amor y paciencia.

A mis hermanos Temistocles y Joaquín, que son parte de mí que con su amor me han enseñado a salir adelante. Gracias por su paciencia, gracias por preocuparse por su hermana mayor, gracias por compartir sus vidas, pero, sobre todo, gracias por estar en otro momento tan importante en mi vida.

A mis Maestros que, en este peldaño de mi vida, influyeron con sus lecciones y experiencias para seguir formándome como profesional, y estar preparada para los retos que se me vienen, a todos y cada uno de ellos les dedico cada una de estas páginas de mi tesis.

En especial a ti Adriel que, con la noticia de tu llegada, cambiaste mi mundo y cada uno de mis sentidos, enseñándome el significado del verdadero amor, te dedico este triunfo, para que con el pasar de los años comprendas que no hay excusas para salir adelante y lograr todas aquellas cosas que te propongas, que aunque aún no lo comprendas eres y serás siempre la razón de cada una de mis sonrisas y lo más importante de mi vida, esperando que este peldaño mas que subimos juntos sea un ejemplo de superación profesional para ti.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a los docentes de la Escuela de Posgrado de la especialidad de Ciencias en Agroecología, mención Gestión Ambiental, por brindarme el apoyo necesario para culminar mis estudios de posgrado.

Los resultados de este proyecto, están dedicados a todas aquellas personas que, de alguna forma, son parte de su culminación.

Mi sincero agradecimiento está dirigido hacia el doctor José Kalión Guerra Lu quien, con su ayuda desinteresada, me brindo información relevante, próxima, pero muy cercana a la realidad de mis necesidades. .

A mis familiares por siempre brindarme su apoyo, tanto sentimental, como económico. y en especial gracias hijito mío, papás y hermanos.

## ÍNDICE

	Página.
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISION BIBLIOGRAFICA .....	4
2.1. Marco teórico .....	4
2.1.1.Ciclo de CO <sub>2</sub> .....	4
2.1.2.Stock y flujo de carbono.....	6
2.1.3.Stock de CO <sub>2</sub> en los suelos.....	7
2.1.4.Flujo de CO <sub>2</sub> del suelo.....	8
2.1.5.Importancia ambiental de los suelos .....	9
2.1.6.El carbono orgánico del suelo .....	10
2.1.7.Factores que incrementan el carbono orgánico en el suelo .....	11
2.1.8.Factores que afectan la cantidad de carbono orgánico del suelo.....	13
2.1.9.Usos del suelo.....	15
III. MATERIALES Y METODOS.....	24
3.1. Ubicación .....	24
3.1.1.Ubicación política.....	24
3.1.2.Características Climáticas .....	24
3.1.3.Relieve y Suelos .....	24
3.1.4.Zona de vida .....	24
3.1.5.Flora.....	25
3.1.6.Fauna .....	25
3.1.7.Población y Economía.....	25
3.1.8.Caracterización del área de estudio .....	25
3.2. Materiales y equipos .....	26
3.3. Población .....	26

3.4.1.Tipo de investigación: básica .....	27
3.4.2.Nivel de investigación: Experimental .....	27
3.5. Diseño de investigación .....	27
3.6. Técnicas e instrumentos .....	28
3.6.1.Técnicas estadísticas.....	28
3.6.2.Tipo de muestreo .....	28
3.7. Metodología.....	29
3.7.1.Fase de Campo .....	29
3.7.2.1.Cálculo del peso del suelo (t/ha) .....	30
3.7.2.2.Densidad aparente del suelo (g/cc).....	30
3.7.2.3.Peso del suelo por estrato de muestreo.....	30
3.7.2.4.Cálculo del carbono en el suelo (t/ha).....	30
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	34
4.1. Carbono orgánico en el suelo.....	34
4.2. Carbono almacenado en la hojarasca.....	41
4.3. Carbono almacenado en el sistema radicular.....	44
V. CONCLUSIONES.....	50
VI. RECOMENDACIONES .....	51
ANEXOS .....	60

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página.
1. Análisis de varianza de % de materia orgánica en el suelo .....	34
2. Análisis de varianza de % de carbono en el suelo .....	35
3. Análisis de varianza de la densidad aparente del suelo (g/cc).....	36
4. Análisis de varianza del peso del suelo (t/ha).....	37
5. Análisis de varianza del carbono en el suelo (t/ha) .....	38
6. Peso fresco total hojarasca recolectada gr/ 0.25 m <sup>2</sup> .....	41
7. Biomasa de las hojarascas (Bh) t/ha .....	42
8. Carbono de hojarasca Ch t/ha.....	43
9. Peso fresco total recolectada en el sistema radicular gr/ 0.25 m <sup>2</sup> .....	44
10. Biomasa radicular (Br) t/ha .....	45
11. Carbono en la biomasa radicular Cr tn/ha .....	46
12. Carbono total incorporado y almacenado en el suelo t/ha.....	47
13. Análisis de laboratorio de los suelos de los diferentes tratamiento en estudio.....	61
14. Promedios de % de materia orgánica en el suelo .....	62
15. Promedios de % de carbono en el suelo .....	62
16. Promedios de densidad aparente del suelo (g/cc).....	62
17. Promedios de cálculo del peso del suelo (t/ha).....	62
18. Promedios de cálculo del carbono en el suelo (t/ha) .....	63
19. Promedios de peso fresco total hojarasca recolectada gr/ 0.25 m <sup>2</sup> .....	63
20. Promedios de biomasa de las hojarascas (Bh) t/ha.....	63
21. Promedios de carbono de hojarasca Ch t/ha.....	63
22. Promedios de peso fresco total recolectada en el sistema radicular gr/ 0.25 m <sup>2</sup> .....	64
23. Promedios de biomasa radicular (Br) t/ha .....	64
24. Promedios de carbono en la biomasa radicular Cr tn/ha .....	64

## INDICE DE FIGURAS

Figura	Página.
1. Croquis de las unidades experimentales de muestreo del cultivo de <i>Inga edulis</i> “huaba” ..	28
2. Diseño de cuadrantes para determinar biomasa hojarasca. ....	31
3. Diseño de cuadrantes para determinar biomasa radicular. ....	32
4. Comparación de medias para el porcentaje de materia orgánica.....	34
5. Comparación de medias de porcentaje de carbono en el suelo .....	36
6. Comparación de medias con respecto a la densidad aparente (g/cc).....	37
7. Prueba de comparación de medias para el peso del suelo (t/ha) .....	38
8. Comparación de medias del carbono del suelo t/ha) .....	39
9. Comparación de medias de hojarasca colectada (gr/0.25 m <sup>2</sup> ).....	41
10. Comparación de medias biomasa de las hojarasca (Bh) t/ha .....	42
11. Comparación de medias carbono de hojarasca Ch t/ha .....	43
12. Comparación de medias del peso fresco radicular gr/ 0.25 m <sup>2</sup> .....	45
13. Comparación de medias para la biomasa radicular (Br) t/ha.....	46
14. Comparación de medias de carbono en la biomasa radicular Cr tn/ha.....	47
15. Extracción de las muestras de suelos.....	65
16. Muestra seleccionada para análisis de suelos .....	65
17. Cuadrantes de 50 x 50 cm para colecta de hojarasca y raíz .....	66
18. Muestra de raíz seleccionada en 50 x 50 cm .....	66
19. Colecta de hojarasca .....	67
20. Peso en estado fresco de las muestras .....	67
21. Secado de las muestras .....	68
22. Peso seco de las muestras colectadas .....	68

## RESUMEN

El presente estudio busco determinar comparativamente el carbono incorporado y almacenado en el suelo, de un sistema agroforestal con cultivo de guaba sembrada en alta densidad con el cultivo de cacao en suelos degradados ex cicales en Ricardo Palma – Tingo María, en donde se consideró el estudio comparativo en cultivos con distintos tiempos de siembra entre ellos de 6, 2 y 4 años, donde los resultados fueron:

El carbono del suelo (t/ha) fue fueron superiores estadísticamente en los tratamientos T<sub>1</sub> (suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal con siembra de guaba y cacao de 02 años), el tratamiento T<sub>2</sub> (suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal con siembra de guaba y cacao de 4 años) y T<sub>3</sub> (suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal siembra de guaba y cacao de 6 años) con valores de 36.95 t/ha, 46.16 t/ha, 40.98 t/ha respectivamente. Mientras que el carbono de la hojarasca fue mejor estadísticamente el T<sub>3</sub> (suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal siembra de guaba y cacao de 6 años) y T<sub>2</sub> (suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal siembra de guaba y cacao de 4 años) fueron superiores estadísticamente con valores de 11.57 y 11.07 t/ha, respectivamente, y al comparar el carbono radicular, el que obtuvo mejor respuesta fue el T<sub>3</sub>(suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal siembra de guaba y cacao de 6 años) con un promedio de 7.21 t/ha.

Palabras claves: Sistemas agroforestales, almacenamiento de carbono, suelos degradados.

## ABSTRACT

The present study sought to comparatively determine the carbon incorporated and stored in the soil, of an agroforestry system with guaba cultivation planted in high density with cocoa cultivation in degraded soils ex coca plantations in Ricardo Palma - Tingo María, where the study was considered. comparison in crops with different planting times, including 6, 2 and 4 years, where the results were:

Soil carbon (t/ha) was statistically higher in treatments T<sub>1</sub> (degraded soils ex coca plantations with agroforestry system with 02-year-old guaba and cocoa planting), treatment T<sub>2</sub> (degraded soils ex coca plantations with agroforestry system with sowing of guaba and cacao of 4 years) and T<sub>3</sub> (degraded soils ex coca with agroforestry system sowing of guaba and cacao of 6 years) with values of 36.95 t/ha, 46.16 t/ha, 40.98 t/ha respectively. While the carbon of the litter was statistically better, T<sub>3</sub> (degraded soils ex coca plantations with agroforestry system planting guaba and cocoa for 6 years) and T<sub>2</sub> (degraded soils ex coca plantations with agroforestry system planting guaba and cocoa for 4 years) were higher. statistically with values of 11.57 and 11.07 t/ha, respectively, and when comparing root carbon, the one that obtained the best response was T<sub>3</sub> (degraded soils ex cocales with agroforestry system planting guaba and cacao for 6 years) with an average of 7.21 t/ha

keywords: agroforestry systems, carbon storage, degraded soils

## I. INTRODUCCIÓN

Los bosques peruanos amazónicos, específicamente en la selva alta o Rupa Rupa, se caracteriza por estar conformados por especies arbóreas de pequeña altura, que comparten los espacios con especies arbustivas, mayormente cubiertos de epifitas, albergando una alta biodiversidad, que nos aportan muchos servicios ambientales, esta complejidad nos hace difícil entender su dinámica, y su funcionalidad como ecosistema.

Es en estos bosques de la selva alta, donde se esta realizando una serie de perturbaciones, entre uno de ellos el cambio de uso del suelo para actividades agrícolas, en estos suelos que nos son aptos, por la fisiografía accidentada, y altas precipitaciones, teniendo como resultado una serie de problemas ambientales, como perdida de la fertilidad del suelo, alteraciones de los ciclos hídricos, emisiones de dióxido de carbono a la atmosfera, perdida de la biodiversidad en algunos casos irreversibles

Es muy frecuente ver en estos bosques de la selva alta, que después de una etapa de actividad agrícola, estos espacios queden abandonados para dar origen a un proceso de recuperación con el desarrollo de una vegetación herbácea tipo barbecho, y después el desarrollo de una vegetación mezclada de arbustos y arboles conocidos en la zona como “purmas”, después de un periodo estos bosques nuevamente inician este proceso, o se deja como espacios recuperados en condiciones naturales, formado parte de los nuevos ecosistemas resultado de los bosques intervenidos.

En estos bosques secundarios diversos estudios nos han permitido determinar el rol ambiental importante que cumplen y que podrían ser utilizados a través de su manejo, como base para un desarrollo sostenible, contribuyendo como un recurso importante para la estabilización y aporte a las necesidades de las comunidades campesinas de la amazonia, así como también la posibilidad de secuestro de dióxido de carbono, puesto que las especies vegetales que llegan a cubrir estos espacios son de rápido crecimiento, y así contribuir a reducir los gases de efecto invernadero, que afecta los cambios climático.

En forma general podemos indicar que los bosques amazónicos y específicamente los que se desarrollan en estas zonas de selva alta, se presentan como una alternativa importante

para la captura y almacenamiento del carbono en sus estructuras, a la vez contribuyen en el aporte para el almacenamiento de carbono en el suelo, esto nos abre un debate sobre la forma de recuperar, preservar, y manejar estos bosques en forma sostenible, por lo que se requiere conocer la estructura de cada bosque y la relación con las poblaciones asentadas, esto es lo que se debe considerar para la implementación de proyectos en el sector forestal

Para la protección, recuperación y conservación de los bosques se proponen diferentes actividades que van desde la creación de áreas naturales protegidas, implementar proyectos forestales con especies arbóreas de multipropósito, promover una agricultura sostenible, de esta manera se contribuirá a disminuir las amenazas al bosque, a paliar los efectos a los servicios ambientales, y cubrir las necesidades básicas de las comunidades asentadas en estos espacios.

Una serie de reportes a nivel mundial, nos indican que la quema de los combustibles fósiles es considerada como una causa principal del aumento de las concentraciones de dióxido de carbono en la atmosfera, y que son los bosques los que capturan y almacena al menos un 25% de estas emisiones. En base a esta consideración la calidad del manejo forestal debe considerarse en las agendas ambientales, como parte de las políticas para controlar los niveles de CO<sub>2</sub>, a la atmosfera. A su vez generar servicios ambientales importantes.

Los procesos de migración hacia nuestra Amazonia, específicamente hacia nuestra Selva Alta o Rupa Rupa, han tenido serias repercusiones, deforestando extensas áreas para implantar actividades agropecuarias, usando sistemas inadecuados, que ha conllevado al empobrecimiento de los suelos con el consecuente abandono de estas áreas; después de un periodo de tiempo se inicia la recuperación en forma natural con la aparición de una vegetación en una sucesión con especies herbáceas, arbustivas y arbóreas conocidas comúnmente como purmas que se caracterizan por la presencia de árboles de rápido crecimiento, capturando el carbono atmosférico en forma más eficiente por las características de desarrollo que presentan siendo de esta manera sumideros importantes de carbono.

Estas áreas agrícolas abandonadas después de diferentes procesos de sucesiones inician su recuperación que duran entre cinco a diez años, los suelos se recuperan gracias a la materia orgánica que aporta esta vegetación, estos espacios recuperados nuevamente son vistos por los agricultores como áreas para desarrollar nuevamente actividades agrícolas, con

prácticas inadecuadas donde resalta la tala, rozo y quema, cultivos a favor de la pendiente entre otros.

El presente proyecto está orientado al estudio comparativo de incorporación y almacenamiento de carbono en el suelo mediante el análisis del suelo de un sistema agroforestal en suelos degradados ex cicales. El problema a investigar es de conocer la cantidad de carbono incorporado y almacenado en un sistema agroforestal con guaba en alta densidad y cacao en suelos degradados ex cicales de diferentes tiempos de siembra.

### **Objetivo general**

- Estudiar la incorporación y almacenamiento de carbono en el suelo en un sistema agroforestal instalado en áreas degradadas en Ricardo Palma – Tingo María

### **Objetivos específicos**

- Cuantificar el carbono orgánico en el suelo. en un sistema agroforestal instalado en áreas degradadas en Ricardo Palma – Tingo María
- Cuantificar el carbono almacenado en la hojarasca. . en un sistema agroforestal instalado en áreas degradadas en Ricardo Palma – Tingo María
- Cuantificar el carbono almacenado total un sistema agroforestal instalado en áreas degradadas en Ricardo Palma – Tingo María

## II. REVISION BIBLIOGRAFICA

### 2.1. Marco teórico

#### 2.1.1. Ciclo de CO<sub>2</sub>

El CO<sub>2</sub> es una gas que forma parte de la composición de la troposfera, que en forma constante se ha ido incrementado, en forma considerable pasando de 260 ppm., hacia 350 ppm., en el siglo anterior, actualmente se calcula que estaremos sobrepasando los 420 ppm, este incremento esta relacionado directamente con el cambio climático, específicamente con el calentamiento global, este incremento se debe a las emisiones provocadas por las actividades antrópicas, específicamente por el desarrollo de las actividades industriales, en donde se hace uso de gran cantidad de combustible fósil (Segovia, 2009).

Se considera que el movimiento global del carbono entre el ambiente abiótico y biótico, entre la materia orgánica e inorgánica es el flujo de cuatro importantes depósitos: la que se encuentra acumulada en la materia orgánica en la estructura de los organismos vivos, la que se encuentra en la atmosfera como carbono inorgánico, que la fluye en los océanos y en la biosfera terrestre (Oviedo, 2007).

Al referirnos al CO<sub>2</sub> y su importancia tendremos que considerar el movimiento dentro de los diversos ambientes, conocido como el ciclo biogeoquímico de CO<sub>2</sub> que conjuntamente con el ciclo del agua son considerados como los ciclos de gran importancia para el desarrollo de todas las actividades vitales, modificando a su vez las condiciones meteorológicas y climática (Odum 1986),

Al considerar a los seres vivos dentro de este flujo del carbono, podemos indicar que todos ellos en sus procesos fisiológicos, utilizan oxígeno en sus procesos de respiración durante su metabolismo y eliminan dióxido de carbono como productos de excreción, carbono que se incorporaría en los diferentes ambientes, acumulándose en la atmosfera en forma de gas, y en el agua y el suelo junto a la materia orgánica producto de la egestión de los seres vivos resultado de sus procesos metabólicos, en la atmosfera este dióxido de carbono tendría una tendencia a incrementarse en forma drástica si no fuera por la participación de los seres fotosintéticos, las que absorben en el dióxido de carbono y a través de procesos fotosintéticos lo transforman en compuestos orgánicos para dar inicio a la cadenas alimenticias, y a su vez

emiten oxígeno reponiendo el oxígeno utilizado en los procesos respiratorios, las perturbaciones realizadas a los ecosistemas afectando a los organismos fotosintetizantes, está causando un desequilibrio, con una acumulación progresiva del dióxido de carbono en la atmósfera, ocasionando perturbaciones climáticas (Foley, 2005).

Los procesos antropogénicos que influyen en la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, es la quema del combustible fósil que además emite otros contaminantes como plomo y azufre y el cambio de uso del suelo, para el desarrollo de la actividad agrícola implementado agricultura migratoria, o la instalación de una agricultura perenne donde la pérdida de dióxido de carbono almacenado en el suelo es mayor, las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera se han ido incrementado considerablemente y se prevé que para el 2100 estas podrían alcanzar las 630 ppm (Montoya *et al.*, 1995).

Analizando el ciclo del carbono, el dióxido de carbono presenta un flujo a través de los diferentes sistemas terrestres desplazándose por la biosfera, hidrosfera, atmósfera y litosfera, de esta manera el carbono se distribuye en los componentes de estos sistemas, ya sea en forma orgánica e inorgánica, en los espacios donde este es absorbido y acumulado se le denomina con el nombre de “sumideros de carbono”. (Oviedo, 2007).

Se tiene que el dióxido de carbono emitido a la atmósfera, es uno de los gases de efecto invernadero más importante, resultado principalmente de la quema de combustibles fósiles, el cambio del uso del suelo para actividades agrícolas ocupa el segundo lugar en importancia con fuertes contribuciones principalmente de los bosques tropicales. (Masera 1995a; Ordóñez, 1998 y 1999) La deforestación mundial en los últimos años se ha incrementado, actualmente se cuenta con equipos y maquinarias que facilitan esta actividad, emitiéndose a la atmósfera cerca de 1.8 GtC<sup>3</sup>; anualmente, lo que representa el 20% de las emisiones antropogénicas totales (IPCC, 1992 y 1995; Montoya *et al.*, 1995).

Los conocimientos básicos que nos permitan determinar la dinámica del carbono en los ecosistemas forestales y otros ecosistemas, así mismo el conocimiento de los flujos del CO<sub>2</sub> en los diferentes ambientes, derivadas de actividades de deforestación, cambio del uso del suelo, sucesiones de áreas disturbadas, nos permitirán saber cómo se encuentra el contenido de carbono en los diferentes almacenes dentro de los ecosistemas, y así proponer

acciones viables, posibles de implementar, que estén orientadas a la mitigación del cambio climático, por efectos de los gases de efecto invernadero (Ordóñez, 1998).

### **2.1.2. Stock y flujo de carbono**

Al carbono que se encuentra almacenado en los diferentes componentes del bosque, sea esto el suelo, hojarasca, en el fuste, se lo define como stock de carbono, y cuando nos referimos al flujo de carbono, nos estamos refiriendo a los movimientos de este carbono en los diferentes sistemas y que es el resultado de las diversas perturbaciones sean estas naturales o antropogénicas (Honorio y Baker 2009)

Cuando se hace la cuantificación del stock de carbono en un bosque, se considera a la biomasa viva almacenada en las raíces, ramas, hojas, fruto y principalmente el que se encuentra en el fuste; también se considera a la biomasa muerta (necro masa) que son hojas, ramas, frutos, tallos, caídos muertos que se encuentran en proceso de descomposición y también se debe considerar el carbono almacenado en el suelo (Honorio y Baker 2009)

Además, cuando se hace la cuantificación de flujo de carbono en el bosque la variable tiempo es una de las primeras a ser considerada, adicionalmente la estructura del bosque, y los eventos que inciden sobre este flujo ya sea estos naturales o antropogénicos, se sabe que el carbono acumulado en un ecosistema es el resultado de la diferencia entre la fotosíntesis y la respiración y que determina el aumento de biomasa que se expresa en la producción de ramas, hojas, raíces y frutos (Honorio y Baker 2009)

La materia orgánica presente en el suelo que es incorporado de diversas maneras ya sea por procesos fotosintéticos en donde se utiliza el CO<sub>2</sub> atmosférico, o por la incorporación de residuos orgánicos como hojarasca, ramas frutos, es lo que se considera como secuestro y almacenamiento de carbono, y que el aumentar la cantidad de carbono orgánico en el suelo formando agregados en donde la actividad microbiana no participe y no se produzca la degradación de la materia orgánica, conservándose por largos periodos son estrategias para aumentar la cantidad de carbono orgánico al suelo, y que la gestión del suelo es importante en su conservación y que una mala gestión del uso del suelo agotaría el carbono orgánico con las consiguientes emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmosfera, (Sarah M. 2012), coincidiendo con lo manifestado ya que en la presente investigación se puede apreciar la poca cantidad de materia orgánica que está presente en el suelo degradado ex cocal y esto principalmente por la mala gestión sobre el uso del suelo así mismo podemos indicar como parte del almacenamiento de

carbono gran parte corresponde al carbono fijado como materia orgánica en los diferentes tratamientos en estudio.

En la distribución vertical del carbono en el suelo, se tiene que a una profundidad de 0 a 30 cm., es el lugar donde se almacena la mayor cantidad de carbono, como CO<sub>2</sub> o carbono orgánico, en áreas con actividad agrícola o ganadera, en los sistemas agroforestales el carbono presenta mayor porcentaje en la biomasa viva, (Ordóñez et al. 2008), coincidiendo con lo manifestado ya que los resultados del presente trabajo aunque solamente se muestreo a una profundidad de 20 cm se reporta altas concentraciones de carbono en suelos asociados con la siembra de guaba y cacao.

### **2.1.3. Stock de CO<sub>2</sub> en los suelos**

Cuando nos referimos al carbono del suelo, los reservorios presentes en estos son muy diferentes y esta relacionado con las características del suelo y esto genera grandes diferencias entre una región y otra, existe también una diferencia vertical que estaría relacionada por el aporte que se tenga desde las parte superficial, se tiene algunos reportes que nos indican que para una zona árida en el primer metro del suelo el contenido de carbono es de unas 30 toneladas/hectárea, para una turbera de latitudes altas este contenido de carbono es en promedio de 800 toneladas/hectáreas y que el contenido promedio de carbono fluctúa entre las 50 y las 150 toneladas/hectárea (Uriarte (2003).

Cuando se hace referencia a la conformación de un suelo forestal y específicamente al contenido de carbono, este procede en parte de la fragmentación de la roca madre por procesos de meteorización, seguidamente después del proceso de meteorización en estos espacios se establece con el tiempo un organismo, que mejora las condiciones para que se establezca un organismo vegetal, que va formando capas por el aporte de materia orgánica con contenido de carbono que se acumulan consecutivamente por la continuidad del proceso (Benjamin 1999).

En los suelos naturales la existencia de carbono orgánico, es el resultado de un balance entre la absorción del carbono procedente de la descomposición de la materia orgánica muerta realizada por los microorganismos del suelo y por la pérdida por procesos de liberación a la atmosfera, o de mineralización, y arrastre por lixiviación y escurrentía, se tiene reportes que

“gran parte del carbono que ingresa al mismo es lábil y sola una pequeña fracción (1%) del que ingresa (55 Pg año<sup>-1</sup>) se acumula en la fracción húmica estable (0,4 Pg año<sup>-1</sup>)”. (FAO, 2002),

En las diferentes evaluaciones se tiene que los Oxisoles son los suelos con menor productividad de biomasa (Sistema de Clasificación USDA) y se tiene a los Inceptisol (Sistema de Clasificación USDA), a los suelos con mayor productividad de biomasa como lo reporta (Aragao et al. 2009)., en donde nos indica que en la Amazonia se han evaluado 104 parcelas por RAINFOR (Red Amazónica de Inventarios Forestales) y resalta que los suelos Inceptisol son los más fértiles y generan una mayor producción de biomasa, quedando de esta manera capturado el CO<sub>2</sub> atmosférico (Aragao et al. 2009).

Se debe considerar que en la conformación de los suelos forestales el contenido de carbono depende de factores a largo plazo, y que este carbono en el suelo puede presentar un flujo por acciones naturales o antropogénicas que pueden modificar la cantidad de carbono acumulado en el suelo ya sea por degradación o mejoras, se tiene de igual manera que los ecosistemas forestales son los que contiene mas carbono almacenado por unidad de superficie que cualquier otro ecosistema, y se calcula que contiene cerca del 40 por ciento del total del carbono (FAO, 2002).

#### **2.1.4. Flujo de CO<sub>2</sub> del suelo**

Cuando nos referimos al flujo de carbono en el suelo este es el resultado de la actividad fotosintética que absorbe el CO<sub>2</sub> atmosférico, lo incorpora a moléculas orgánicas y lo almacena en sus estructura de esta manera el CO<sub>2</sub> atmosféricos es fijado y por el otro lado tenemos al flujo por la respiración de los organismos que liberan CO<sub>2</sub> a la atmosfera resultado de la utilización de materia orgánica para generar energía, se suma a esta la respiración de los microorganismo en sus procesos de descomposición de la materia orgánica quienes emiten CO<sub>2</sub>, que se incorpora al suelo y a la atmosfera (Oviedo, (2007).

Se considera que el suelo emite CO<sub>2</sub> por procesos de respiración y el desplazamiento de este CO<sub>2</sub> está considerado como una parte del flujo del CO<sub>2</sub> del suelo, otras formas de emisión es la producida por las raíces de las plantas y de los organismos del suelo que de igual manera en sus procesos de respiración emiten CO<sub>2</sub>, y otra porción es por la oxidación química de la materia que contiene carbono. (Raich y Schlesinger 1992). Las formas de medir

el flujo de dióxido de carbono entre el suelo y la atmosfera es por unidad de superficie y por unidad de tiempo, esto es la cantidad de carbono que se intercambia entre el suelo y la atmosfera. (Oviedo 2007)

El dinamismo del carbono dentro del ciclo de carbono en el suelo, esta definido por el flujo de carbono, en donde se considera además de la respiración del suelo, la producción total de CO<sub>2</sub> intacto proveniente de la respiración de los organismos del suelo, de las raíces y micorrizas, estos son a su vez influenciados por la temperatura, precipitaciones y el tipo de vegetación. (Raich y Schlesinger 1992)

### **2.1.5. Importancia ambiental de los suelos**

Ambientalmente los suelos conforman un sistema abierto de diversas interacciones con intercambios con la atmosfera y salidas de elementos que pueden darse a nivel de la superficie, por escurrimiento e infiltración, que causan perturbaciones que dan como resultados la erosión de los suelos, en el mismo suelos se llevan a cabo una serie de transformaciones cuyos responsables son los diferentes microorganismos, se da una serie de intercambios gaseosos, procesos de descomposición de la materia orgánica, siendo los ecosistemas boscosos los que tienen mayor influencia en la estructura del suelo, que los otros tipo de ecosistemas (INE- SEMARNAT, 2007; Bashkin y Binkley 1998).

Dentro de la importancia a resaltar de los suelos es la función que cumplen de soporte y suministros de nutrientes a las plantas, es por estas razones que la erosión de los suelos, es un problemas que amenaza la producción de alimentos, considerado como uno de los problemas ambientales mayores que tiene repercusiones hacia el desarrollo sostenible de la actividad agrícola, otras funciones igualmente importante de los suelos es ser un medio filtrante del agua que permite la recarga de los acuíferos, regulando y manteniendo los volúmenes de estos, influenciando también hacia los estándares de calidad del agua (OMM y PNUMA, 2005; Llerena, 2005).

Se debe considerar los procesos naturales de reciclaje de los compuestos orgánicos que se realiza a través de los ciclos biogeoquímicos en donde una parte de ellos se realiza en el suelo, para el caso el suelo viene a ser el medio en donde se transforman los compuesto orgánicos en compuestos asimilables por las plantas, se estima que gracias a este proceso el

carbono almacenado en el primer metro del suelo es 1,5 veces mayor que el acumulado en la biomasa aérea, a esto también es conocido como el secuestro de carbono en el suelo, reduciendo considerablemente su liberación a la atmósfera mitigando los efectos del cambio climático, específicamente el calentamiento global por el efecto invernadero (Lal, 1999).

Se resalta que una gran diversidad de organismos utilizan el suelo como hábitad, se encuentran dentro de ello desde organismos microscópicos, (bacterias, hongos, algas) que cumplen funciones muy importantes en el suelo formando parte de la estructura biológica del suelo, también se encuentran en el suelo una gran diversidad de invertebrados en sus diferentes estados de su ciclo biológico, complementado a esto están pequeños mamíferos, reptiles e incluso aves, manteniendo una amplia biodiversidad (INE- SEMARNAT, 2007).

#### **2.1.6. El carbono orgánico del suelo**

El contenido total de materia orgánica en el suelo, es un indicador de calidad que mide la capacidad que tiene un suelo para mantener actividades agrícolas, y que le permite sostener una determinada productividad, en base a los nutrientes aportados por esta materia orgánica que se encuentren disponibles para los cultivos, principalmente del nitrógeno, fósforo y potasio. (Lal 1999).

La disponibilidad de nutrientes en el suelo, depende de las reservas de las materias orgánicas, que se encuentra en diferentes estados de descomposición, de los tipos de residuos orgánicos, los diferentes componentes que forman la estructura de esta materia orgánica, de las estructuras física, química y biológica de los suelos, que en conjunto son factores que influyen en el aporte de nutrientes para la producción de los cultivos (Zilbilske 1994).

En los ciclos biogeoquímicos la participación de los microorganismos como bacterias y hongos, son indispensables durante la degradación de la materia orgánica, donde una parte del carbono que se encuentra en las estructuras de la materia orgánica, fluye a la atmósfera como CO<sub>2</sub> y otra parte de carbono queda en el suelo que intervienen en la producción de coloides orgánicos presentes en el suelo, profiriéndoles propiedades amortiguadoras y la producción de agregados que mejoran sus estructuras físicas, químicas, y biológicas del suelo (Chenu *et al.*, 2000; Stott. *et al.*, 1999).

Para mejorar el secuestro de carbono en el suelo y mejorar el flujo del carbono en los ciclos biogeoquímicos, se puede lograr por la agregación y mejoramiento de la estructura de los suelos por los complejos órgano minerales, la estabilidad de estos agregados son aportados por el carbono orgánico del suelo, la adición de biomasa al suelo, que tiene ventajas como mejorar la calidad y cantidad de compuestos húmicos, la formación de complejos órganos minerales que se estabilizan por los productos resultantes de el metabolismo de los diferentes microorganismos (Lal et al., 1998).

## **2.1.7. Factores que incrementan el carbono orgánico en el suelo**

### **2.1.7.1. Materia orgánica**

La materia orgánica presente en el suelo esta formada por resto de vegetales como hojarascas, ramas caídas, frutos, arboles muertos, de animales como excrementos, animales muertos, en diferentes procesos de descomposición, que esta conformadas por compuestos químicos mayormente: proteínas, carbohidratos, lípidos, aminoácidos, que por acción de los microorganismos se produce el rompimiento de sus estructura liberando compuestos carbonado y minerales asimilables para la planta, en forma de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, y huminas, formando compuestos solubles e insolubles en agua que interactúan con particulas minerales, convirtiéndose en fuente de carbono orgánico y de minerales en el suelo (Schnitzer 1982).

El carbono en el suelo, procedente de la materia organica en descomposicon que se estima que esta presente en 58%, es el que proporciona los nutrientes para la planta, y ademas mejora las estructuras físicas del suelo, como la porosidad, la permeabilidad, la aireación, su capacidad de retención de agua; mejora igualmente la estructura química, en disponibilidad de elementos minerarles, mejora el pH., mejora la capacidad de intercambio catiónico; y mejora la diversidad de los componentes biológicos. (Jackson 1976). De este carbono orgánico, adicionado al suelo como materia organica mas del 70% se pierde como a la atmosfera como CO<sub>2</sub> (James y Konrad 1989; Jenkinson 1971).

Para analizar los factores que inciden en el incremento de carbono en el suelo se tiene que ver la materia orgánica que es incorporada en el suelo desde su composición, su complejidad y heterogeneidad ya que por lo general esta se encuentra mezclada o asociada

con los constituyentes minerales del suelo, además se debe considerar que las partículas orgánicas son muy sensibles a los cambios en el uso de la tierra (FAO, 2002).

Se tiene que en los diferentes ecosistemas la materia orgánica es un componente necesario por el aporte al flujo de carbono, esto tiene relación con la calidad, su concentración, su distribución y su contenido, de los diferentes tipos de residuos que son incorporados en estos ecosistemas, estos tendrán repercusión en sus procesos y que cuando se rompe el equilibrio en el suelo sobre todo cuando la pérdida de la materia orgánica es superior a las ganancias, los suelos pueden actuar como una fuente de emisiones constante de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera (Sá, 2007).

Al hacer el análisis de los componentes orgánicos del suelo, se puede apreciar que están compuesto por diferentes tipos de moléculas como carbohidratos, lípidos, proteínas, ácidos nucleicos que tienen dentro de sus estructuras compuestos carbonados, estos están presentes en diferentes agregados al suelo, desde partes de vegetales frescos sin descomponer hasta los ácidos húmicos que son cadenas carbonadas muy transformadas y estables que provienen de restos vegetales, raíces de plantas, restos de animales, excretas de animales, bacterias y hongos (Cazorla 2008).

#### **2.1.7.2. Secuestro de carbono**

El secuestro de carbono, término ampliamente utilizado en la actualidad y que nos indica la cantidad de CO<sub>2</sub> que es capturado de la atmósfera por las plantas, para realizar sus procesos fotosintéticos e incorporarlo como materia orgánica, materia orgánica que después de un proceso de degradación por microorganismos lo transforma en carbono orgánico incorporado en el suelo, es necesario diferenciar lo que es captura de carbono y secuestro de carbono, la captura se refiere al carbono utilizado por las plantas y otros organismos fotosintetizantes que utilizan el CO<sub>2</sub> atmosférico y lo incorporan dentro de sus estructuras, y se entiende por secuestro cuando la materia orgánica que retorna al suelo por la muerte de los organismos, ya sea por plantas y animales muertos, o por partes de sus estructuras como hojas, ramas, frutos, caídos, y por excretas de los animales, estos son degradados por microorganismos y convertidos nuevamente en CO<sub>2</sub> e incorporados al suelo, otra forma de secuestro, es cuando la materia orgánica permanece en el suelo con procesos de degradación muy lenta, formando el mantillo del suelo. (Angers y Chenu 1998).

La protección física del suelo, se le atribuye a la transformación química del carbono que se asocia con la fracción mineral y es considerado como un mecanismo que explica la forma como el carbono del suelo es secuestrado, además se tiene que considerar el carbono secuestrado al que se acumula en las partes rígidas de la planta que es aprovechado como productos maderables que es una parte del carbono que queda temporalmente fuera del ciclo. (Oades 1988).

## **2.1.8. Factores que afectan la cantidad de carbono orgánico del suelo**

### **2.1.8.1. Erosión**

La pérdida de carbono en el suelo, especialmente de la capa cultivables, conocido como la erosión del suelo es uno de los factores principales que ocasiona la degradación del suelo con pérdida de materia orgánica, y pérdida de minerales que contienen los nutrientes esenciales para el desarrollo de la planta ocasionando que se reduzca el rendimiento de los cultivos por la baja fertilidad que presenta, además que genera cambios en la propiedades físicas, químicas y biológicas, como: cambios en la estructura física, cambios en la textura, en la capacidad de infiltración, cambia su propiedades mineralógica, se da la disminución de la capa arable, así como la disminución de la población microbiana, todos estos factores que afecta el rendimiento de los cultivos. (Olson et al., 1999).

En el ciclo global del carbono, el intercambio de carbono entre el suelo y la atmosfera ocupa una posición importante, donde la transformación del carbono en el suelo ocurre por la mineralización de la materia orgánica, la descomposición de la materia orgánica aportado por las plantas y los animales, el aporte de los residuos de la actividad agrícola por los diversos microorganismos, y del resultado de las actividades fisiológica de las plantas y la biomasa microbiana que convierte el carbono orgánico a forma inorgánica generando CO<sub>2</sub> (Curtin et al., 1998).

En los procesos de oxidación del carbono en el suelo, la participación de los microorganismos es importante, ya que la suma de todas las actividades metabólicas sumada con la de los animales y plantas en sus procesos fisiológicos de respiración da como resultado la producción de CO<sub>2</sub> con utilización de oxígeno. Las prácticas agrícolas tienen influencia en

el grado de oxidación de la materia orgánica presente en los suelos, y que para reducir el flujo del CO<sub>2</sub> del suelo a la atmósfera, se recomienda, reducir las actividades de labranza, la rotación de cultivos, incluyendo leguminosas fijadoras de nitrógeno, fertilización con abonos orgánicos, reforestar tierras marginales, implementar sistemas agroforestales (Campbell *et al.*, 1995).

Para hacer un análisis del secuestro de carbono en el suelo se tiene que considerar el flujo por la emisión de CO<sub>2</sub> resultado de la descomposición de la materia orgánica por procesos de respiración biológica, la descomposición de los residuos y el aporte de la respiración de las raíces de las plantas, haciendo el balance entre la incorporación y la pérdida de carbono hacia el suelo (Curtin *et al.*, 1998).

#### **2.1.8.2. Retiro de rastrojos y sistemas de cultivo**

Una práctica para incrementar el carbono en los suelos agrícolas, es la incorporación de los residuos de los cultivos hacia el suelo, esto va a depender del tipo de cultivo que se este practicando, y de la cultura del agricultor, ya que muchas veces estos rastrojos son utilizados como alimento del ganado, disminuyendo las fuentes de incorporación de carbono, ocasionando un desequilibrio que tiende a disminuir la cantidad de carbono en el suelo. (Lal *et al.* 1999).

En el balance del flujo de carbono en el suelo las actividades agrícolas que influyen en la pérdida de carbono, es el mal manejo del cultivo, las malas prácticas agrícolas, las fertilizaciones inadecuadas con abonos sintéticos, los monocultivos estos disminuyen drásticamente el contenido de carbono en el suelo, y dentro de las actividades agrícolas que permiten aumentar el contenido de carbono en el suelo se considera, la utilización de buenas prácticas agrícolas, la rotación de cultivos con el uso de leguminosas o cultivos con amplia cobertura vegetal, el uso de abonos orgánicos, pero aun con la implementación de estas actividades siempre se provoca una pérdida de carbono en el suelo, sobre todo en la preparación de la tierra, ya que esta incrementa la velocidad de descomposición de la materia orgánica, reduce la biomasa microbiana, que influyen ocasionado una pérdida de carbono en el suelo (Lal *et al.*, 1999).

### 2.1.8.3. Labranza

La manipulación mecánica del suelo es conocido como la labranza del suelo que altera la estructura de este, con el ingreso de oxígeno que facilita la respiración de este, el ingreso de agua, que proporciona las condiciones óptimas para la germinación y desarrollo de las plantas. (Figueroa 1982).

Se debe considerar que la labranza del suelo en las actividades agrícolas, facilita el proceso de respiración del suelo, y el flujo de sus componentes los que pueden exhibir variaciones espaciales y temporales, que no es atribuible a los cambios de temperatura y humedad del suelo, se tiene que la temperatura no contribuye significativamente en la respiración total del suelo, pero si la humedad del suelo tiene una relación significativa por lo que se puede decir que la respiración del suelo se relaciona con la temperatura y la humedad del suelo. (Metcalf *et al.* 2007; Oviedo 2007).

### 2.1.9. Usos del suelo

Primeramente, se tiene que considerar que el tipo de vegetación y el uso del suelo son factores determinantes en el almacenamiento de carbono, se tiene que en un suelo sin manejo forestal se retiene de 20 a 100 veces mas que en los sistemas agrícolas y se ha estimado que en el periodo desde 1850 y 1987 la liberación de carbono en la atmosfera alcanzaría un estimado entre 80 y 150 PgC., como efecto de los cambios del uso del suelo. (Montoya *et al.* 1995).

Igualmente se reporta que las tierras áridas, tienen una capacidad muy baja de fijar dióxido de carbono por unidad de superficie, pero pueden hacer contribuciones importantes en la captura global de carbono si se plantean acciones orientadas a prevenir o disminuir la tasa de desertificación, o implementar proyectos de cambio del uso de los suelos áridos hacia suelos agrícolas (FAO, 2002).

Las plantas terrestres toman el CO<sub>2</sub> del aire o del suelo, las plantas acuáticas toman el CO<sub>2</sub> del agua, este CO<sub>2</sub> más moléculas de agua más la energía luminosa, las plantas lo transforman en energía química asimilable, a través de un proceso fotosintético, produciendo hidratos de carbono más la liberación de moléculas de oxígeno que es liberado a la atmosfera,

y al agua, las plantas de esta manera juegan un rol importante en el ciclo del carbono, el carbono asimilado pasa a formar parte de la estructura de moléculas orgánicas que son incorporados a las estructuras de las plantas en su crecimiento y desarrollo, parte de estas plantas o la planta completa después de cumplir su ciclo biológico aportan materia orgánica al suelo, y por procesos de degradación liberan nuevamente CO<sub>2</sub> a la atmósfera o lo incorporan al suelo, determinado los diferentes tipos de suelos (Brack 2000).

Es necesario considerar que para determinar el flujo de carbono se debe estudiar los factores críticos como la deforestación, la misma que no se conoce con precisión aunque se realizaron estimaciones que esta oscila entre 300 y 600 mil ha año<sup>-1</sup>, para la década del 90, en los bosques templados y tropicales, estas estimaciones son mucho mayores para esta última década, siendo uno de los problemas ambientales con mayor impacto, y que propicia el cambio del uso del suelo, con serias repercusiones ambientales a nivel mundial (Masera *et al.* 1997).

Existen trabajos referentes al flujo del CO<sub>2</sub>, pero no se cuenta con información detallada de los almacenes de CO<sub>2</sub>, por tipo de suelo, por el cambio del uso del suelo, de los patrones derivados del cambio del uso del suelo, por tipo de ecosistemas, por tipo de actividad agrícola, los ecosistemas tropicales son los que mayormente han sido estudiados y de estos son pocos los estudios reportados, los bosques templados la información es muy deficiente y son los que están sufriendo en la actualidad procesos acelerados de deforestación, degradación y cambio del uso del suelo, comparado con las selvas tropicales (Ordóñez, 1998 y 1999).

En todo el flujo de CO<sub>2</sub> los árboles cumplen un rol importante en la incorporación y almacenamiento de una parte de CO<sub>2</sub> en el suelo, ya que este al capturar el CO<sub>2</sub> de la atmósfera y utilizarlo en los procesos fotosintéticos, genera materia orgánica que incorpora en su estructura y que le permite crecer y desarrollarse, incrementando su follaje, ramas, frutos así como la altura y grosos del tronco, la copa de los árboles se desarrollan y generan competencia con otros árboles para recibir la energía proveniente del sol y ser utilizada, a su vez los componentes de la copa de los árboles aportan hojas, ramas, frutos que es una fuente de materia orgánica, la misma que al irse degradando dan origen a humus, liberando CO<sub>2</sub> que puede ir hacia la atmósfera y una parte se incorpora y almacena en el suelo (Ordóñez 1998 y 1999).

En el ciclo de vida de los árboles el carbono que se encuentra formado las diferentes moléculas orgánicas que forman parte de su estructura, se considera que es un carbono almacenado, y cuando los árboles dejan caer sus hojas, ramas, frutos o estos mueren, incorporan materia orgánica al suelo, que por procesos de descomposición por los diversos organismos el carbono es liberado en forma de CO<sub>2</sub> y fluye bien a la atmósfera o al suelo, formando nuevamente parte del ciclo biogeoquímico del carbono (Ordóñez, 1998 y 1999).

En el análisis de la función, del flujo y almacenamiento del carbono orgánico en los suelos agrícolas, se considera que estos contribuyen positivamente, mejorando la estructura física, química y biológica, que influye en la fertilidad, la resiliencia, la productividad, sostenibilidad, no solo de los suelos agrícolas, sino en los diversos ecosistemas terrestres, la cantidad de carbono presente en las moléculas que forma parte de la estructura de los seres vivos es menor que la cantidad de carbono almacenado en el suelo, por lo que se considera importante entender la dinámica del carbono, los impactos que se pueden ocasionar al suelo y que influyan en el almacenamiento del carbono, esto debe ser un factor importante al hacer el análisis en el balance en el ciclo del carbono (Post y Know, 2002).

En todo este ciclo del carbono cuando se hace el cambio del uso del suelo, de suelos con vegetación natural a suelos para implantar actividades agrícolas, la pérdida de carbono es uno de los efectos de este cambio, y que tiene que ver con el tipo de cultivo que se realice, el manejo y el tipo de suelo, esta pérdida tiene que ver con la velocidad de mineralización de los residuos orgánicos, que es influenciado por las actividades culturales que se realizan en el manejo de los cultivos, como la remoción del suelo durante la labranza, que disminuye la cobertura que afecta la protección física del suelo, además que las actividades agrícolas disminuyen la cantidad de materia orgánica que cuenta el suelo y contribuyen en la disminución de carbono a ser incorporado al suelo (West y Post 2002).

Contribuyendo al entendimiento del flujo de carbono en el suelo se tiene que analizar que el tipo de actividad cultural que se realice en el manejo de un cultivo que como sabemos repercute de diversas maneras en el suelo, rompiendo los agregados y exponiendo a la superficie la materia orgánica con compuestos minerales que permanecían inaccesibles para los diferentes organismos descomponedores, acelerando los procesos de mineralización, como consecuencia de esta actividad en el manejo de los cultivos se tiene que el carbono orgánico en el suelo puede reducirse hasta en un 50% después de una década, y que por factores

ambientales esta pérdida puede ser en mas corto tiempo y en mayor porcentaje (Post y Know, 2002).

Para precisar los flujos de carbono en los ecosistemas, uno de los problemas fundamentales, es la incertidumbre que se tiene en los procesos del cambio del uso del suelo, pues se desconoce cómo, cuanto y por donde se pierde el carbono en los bosques a través del tiempo, explicaciones que son muy complicadas de analizarlos puesto que esto depende de una serie de interacciones, intra e interespecíficas de tipo biofísico y socioeconómica (IPCC, 1995; Masera *et al.*, 1997).

Los factores relacionados con la dinámica de las emisiones, captura y almacenamiento del carbono en el suelo, se consideran, el cambio del uso del suelo, la pérdida de cobertura, la fisiografía del terreno, las especies y el estado de conservación de los ecosistemas, de los ciclo hídricos relacionados con la abundancia y escases del agua, los componentes químicos del suelo, de las estructuras físicas, los procesos naturales que conllevan a la regeneración cambio de las especies por procesos de sucesiones, de la diversidad de especies que conforman los ecosistemas, dinámica de los paisajes, son los mas importantes para analizar la dinámica de emisiones, captura y almacenamiento de carbono, por el cambio del uso del suelo.(IPCC, 1995; Masera *et al.*, 1997).

Para mitigar el calentamiento global del planeta por efecto de los gases de efecto invernadero, paralelo al cambio del uso de energías fósiles por energías limpias renovables, se debe considerar opciones que incentiven la captura, la incorporación, almacenamiento y acumulación de carbono en el suelo, opciones que no son bien entendidas por la falta de conocimiento de la dinámica de los ecosistemas, los servicios ambientales que estos presentan, específicamente sobre la regulación del ciclo del carbono, esta falta de conocimientos hace que se limite su apreciación y uso de esta opción, para disminuir el incremento de CO<sub>2</sub> atmosféricos uno de los gases más importantes del efecto invernadero (Steiguer de *et al.*, 2008).

Otro de los ecosistemas importantes en la acumulación de carbono, son los pastizales, que ocupan un 50% de la superficie terrestre, y se calcula que acumulan aproximadamente una tercera parte de las reservas de biomasa, en sus partes aéreas, en sus raíces, y en el suelo, donde la ventaja de los pastizales es la acumulación de carbono como biomasa en las raíces y

en el suelo, ya que tiene un sistema radículas amplio y superficial, tipo fasciculada fibrosa, aunque los bosques son los que acumulan gran cantidad de carbono esto lo hace en la parte de su biomasa aérea, y al hacer un estudio comparativo han demostrado que la acumulación de carbono en la biomasa es casi similar en estos dos ecosistemas (Sharrow y Syed, 2004).

El secuestro de carbono en tierras degradadas usadas como pastoreo es bajo, este secuestro puede incrementarse, si se incrementa la entrada de materia orgánica en el suelo y se reduce la descomposición de esta, a través de practicas de manejo adecuado, evitando el sobre pastoreo (Ingram *et al.*, 2008).

Los mayores reservorios de carbono orgánico terrestre con el que se cuenta son los suelo y además es el mas estable, se indica que contiene el doble de carbono presente en la atmosfera y tres veces más que el carbono almacenado en la biomasa área de la vegetación, y que la implementación de actividades para incrementar las reservas de carbono en el suelo y en la biomasa aérea, generan impactos positivos en el ambiente, relacionados con el calentamiento global, mejoran la fertilidad de los suelos y la productividad de los cultivos por la incorporación de nutrientes para las plantas, previenen la degradación del suelo por el aporte de materia orgánica, y contribuyen a la conservación de la biodiversidad, y que la liberación de CO<sub>2</sub> a la atmosfera está relacionado principalmente con el cambio de uso y la degradación de los suelos (FAO, 2004).

Las regiones áridas, son considerado como ecosistemas con un potencial capacidad para el secuestro de carbono orgánico, ya que estas no cuentan o han perdido cantidades significativas de carbono orgánico, por lo que se considera fundamental su recuperación, ya que las interacciones entre los factores edáficos, los vegetales y el almacenaje de carbono puede generar ganancia de carbono para ser incorporado en el suelo, su bajo contenido de materia orgánica, lo hace que esta tenga un potencial para el almacenamiento de CO<sub>2</sub> y que esta cualidad debe ser considerado en los estudios globales de captura de carbono (Moreno *et al.*, 2010).

Una serie de actividades humana, están relacionada con el incremento de las concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosférico se tiene datos que en los años de 1800 se contaba con aproximadamente 280 ppm., de CO<sub>2</sub> en la atmosfera, esto se ha ido incrementando y para el 2004 se tenía aproximadamente 380 ppm., y hay datos que en la actualidad estamos

bordeando las 430 ppm., y los pronósticos nos indica que el CO<sub>2</sub>, atmosférico continuara incrementándose en las próximas décadas y que junto al incremento también de otros gases de efecto invernadero la temperatura global de planeta se incrementara entre 1.9 y 4.6 oC., con cambios severos en el clima, con drásticas consecuencias, se considera que la quema del combustible fósil es uno de los primeros emisores de CO<sub>2</sub> a la atmosfera, y que el cambio de uso del suelo para actividades agrícolas con procesos de deforestación es el segundo contribuidor mas importante, además que con la deforestación se disminuye la capacidad de captura y de sumidero de CO<sub>2</sub> (IPCC, 2007)

A nivel mundial la tasa de deforestación se ha ido incrementando y a pasado de 9 millones de hectáreas de deforestación por año a 13 millones de hectáreas por año, para convertir áreas forestales a tierras para la implementación de actividades agrícolas y pastoreo; contribuyendo con aproximadamente 0.5 a 2.7 Gigatoneladas de carbono (Gt de C) por año a las emisiones globales de CO<sub>2</sub> a la atmosfera (FAO, 2006).

Según el IPCC (2007), el incremento de las emisiones de carbono a la atmosfera en los últimos años se han se han realizado a través de dos maneras:

- Por la quema de combustible fósil como fuente de energía y otras fuentes de energía que aportan carbono a la atmosfera que se calcula en 6 billones de toneladas de carbono por año en todo el mundo, este nuevo carbono agregado junto con la contribución humana que presenta un aporte pequeño es el que se acumula y permanece en la atmosfera.
- La otra manera se relaciona con el cambio del uso de los suelos, transformando ecosistemas forestales que funcionan como sumideros de carbono, en áreas donde se implementara actividades agrícolas que se convierten en fuentes emisoras de carbono a la atmosfera que se calcula en un billón de toneladas de carbono año, la transformación de estos ecosistemas forestales en áreas agrícolas además de la perdida de CO<sub>2</sub> a la atmosfera reduce la oportunidad de capturar CO<sub>2</sub> de la atmosfera.

El incremento de estas concentraciones de CO<sub>2</sub> a la atmosfera, está teniendo serias repercusiones por los efectos de estos gases de efecto invernadero, infiriendo en el calentamiento global del planeta con un incremento de la temperatura media del orden de 0.6 °C., que ocasiona cambios en los procesos meteorológicos y ambientales, ocasionando

alteraciones de los ciclos hidrológicos con inundaciones en unas regiones y sequías en otras, así también aumentan la frecuencia y drasticidad de los tornados y huracanes con consecuencias negativas, tanto económicas, sociales, con pérdida de vidas humanas y afectando a la biodiversidad (FAO 1995a).

En la Amazonia peruana se han deforestado según estudios entre 9 millones de hectáreas hasta los años de 1990 y en la actualidad esa cifra se proyecta con algo más de 13 millones de hectáreas, cuyo impacto en el medio ambiente ha sido significativo no solo por las emisiones de CO<sub>2</sub>, sino también por los efectos hacia la biodiversidad que se ha ocasionado por fragmentación de los ecosistemas, la pérdida de los recursos forestales, la pérdida de suelos, la alteración de los ciclos hídricos, entre otros (Tratado de Cooperación Amazónica 1999).

## **2.2. Estado del arte**

Leiva y Ramírez (2021) en su investigación sobre el carbono almacenado en cacao y suelo en sistemas agroforestales, en el siguiente trabajo se calculó el carbono acumulado en la biomasa, hojarasca y el suelo; se evaluaron 48 árboles de cacao SAF, se colectaron sus respectivas muestras en el suelo, para realizar el cálculo de carbono en los elementos. Para los resultados se mostraron una superioridad del suelo para reservar carbono, en los árboles la reserva de carbono es ascendente por cada año hasta los 15 años que logra 12.45 Mg C ha<sup>-1</sup> en el BH-PM, bh-T con 19 y en el bs-t CON 8.5 Mg C ha<sup>-1</sup>, se observó una mayor reserva en los tallos y la raíz. Para la hojarasca almacenada durante un determinado tiempo esta logra mantener un stock de carbono, sin embargo, en su desarrollo de transformación logra llegar a formas estables y a la vez incrementa la reserva del suelo entre 6-8 Mg ha<sup>-1</sup>.

Mena (2011) menciona en su investigación sobre la biomasa y la reserva de carbono en sistemas agroforestales con café y en bosque secundarios, en este trabajo se calculó el carbono en SAF café de diferentes variedades y en bosques secundarios localizados en tres pisos altitudinales, se instalaron parcelas de un determinado tiempo donde se calculó la biomasa aérea y de raíces, la necromasa y el carbono orgánico en el suelo. Para el resultado se

muestra el carbono almacenado con  $171.3 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , dentro del cual el  $102.0 \text{ Mg C ha}^{-1}$  se encontró en el suelo de 0-30cm, la biomasa aérea con  $53.7 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , carbono abajo del suelo  $10.9 \text{ Mg C ha}^{-1}$  y necromasa con  $4.3 \text{ Mg C ha}^{-1}$ . Por otro lado, el bosque secundario resulto con un almacenamiento de carbono superior de  $271.7 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , el sistema agroforestal poró-café con  $129.1 \text{ Mg C ha}^{-1}$  y el sistema agroforestal laurel-café  $113.2 \text{ Mg C ha}^{-1}$ .

Villogas (2013) menciona en su investigación sobre el almacenamiento de carbono en cacao en producción de sistema agroforestal en parcela de 6, 8, 10 años. Para la metodología el almacenamiento de carbono la evaluación fu de ICRAF, para el carbono almacenado en el suelo se utilizo el procedimiento Walkley Black. Como resultado del carbono almacenado total fue superior para el sistema agroforestal de 10 años ( $166.85 \text{ t C/ha}$ ) e inferior para los de 8 años con  $143.49 \text{ t C/ha}$  y para 6 años con  $130.86 \text{ t C/ha}$ ; para el carbono de la biomasa aérea fue superior con  $104.03 \text{ t C/ha}$  para el sistema agroforestal de 10 años e inferior con  $69.76 \text{ t C/ha}$  para la parcela de 8 años y con  $68.40 \text{ t C/ha}$ ; por consiguiente el almacenamiento de carbono en el suelo de los SAF resultaron para la parcela de 6 años con  $62.95 \text{ t C/ha}$  que representa  $37.65 \%$ , para 8 años  $62.46 \text{ t C/ha}$  que representa  $51.38\%$  y para 10 años  $73.73 \text{ t C/ha}$  que representa  $47.73\%$ .

Bringas (2010) comenta en su investigación que realizo en un sistema agroforestal de cacao en comparación con un bosque en la estimación de carbono almacenado en los siguientes sistemas SAF cacao + laurel y bosque secundario en edades de 9, 10, 11 años. Para los resultados de carbono en biomasa no arbórea en el sistema SAF cacao + laurel se obtuvo  $2.83 \text{ t ha}^{-1}$ ,  $5.14 \text{ t ha}^{-1}$  y  $2.64 \text{ t ha}^{-1}$  para 9, 10 y 11 años respectivamente; para biomasa arbórea con  $46.98 \text{ t ha}^{-1}$ ,  $62.59 \text{ t ha}^{-1}$  y  $79.98 \text{ t ha}^{-1}$  para 9, 10, 11 años respectivamente; por otro lado para el bosque secundario para biomasa no arbórea presento  $5.24 \text{ t ha}^{-1}$ ,  $5.29 \text{ t ha}^{-1}$  y  $6.93 \text{ t ha}^{-1}$  para 9, 10, 11 años respectivamente; para biomasa arbórea  $21.62 \text{ t ha}^{-1}$ ,  $69.35 \text{ t}$

ha-1 y 94.75 t ha-1 para 9, 10, 11 años respectivamente. Por otro lado, comparando con la prueba T fue 110.56, 163.80, 198.25 t ha-1 para 9, 10, 11 años respectivamente; asimismo también muestran el promedio de carbono total para el suelo con 53.1% y 44.2% para bosque secundario y SAF, respectivamente.

Jara (2016) comenta en su investigación en dos tipos de sistemas agroforestales cacao y café en el almacenamiento de carbono en el suelo, el sistema 1 con 5 años y el sistema 2 con 15 años con características del suelo textura franco limoso arcilloso para ambos, la metodología empleada fue de ICRAF. En los resultados para el SAF con cacao en carbono almacenado para el suelo es de 62.473 t/ha, para la hojarasca es de 11.155 t/ha, para la raíz es de 2.27 t/ha; por otro lado para el SAF con café en carbono almacenado para el suelo es de 52.53 t/ha, para la hojarasca es de 6.65 t/ha, para la raíz es de 1.006 t/ha.

Silva y Olaya (2019) menciona en su investigación sobre carbono almacenado en sistema agroforestal de café asociado con guaba con 15 años, con la metodología de ICRAF 2009, se calculo el carbono fijado en el suelo, aplicando el método Walkley Black. Para los resultados carbono total almacenado resulto 133.27 tC/ha; para carbono almacenado en la biomasa aérea con 22.80 tC/ha; para carbono almacenado en la necromasa con 6.34 tC/ha y para carbono fijado en el suelo con 104.13 tC/ha.

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Ubicación

La zona donde se realizó el presente trabajo de investigación se encuentra en Alto Guacamayo y Bajo Guacamayo que pertenece al centro poblado de Ricardo Palma en las parcelas del fundo “JG”

##### 3.1.1. Ubicación política.

Las parcelas de cultivos agroforestales del fundo “JG” se ubican en la comunidad de Alto Guacamayo perteneciente al centro poblado de Ricardo Palma, Distrito de Luyando, Provincia de Leoncio Prado, Departamento de Huánuco

##### 3.1.2. Características Climáticas

Según las estaciones meteorológicas del SENAMHI, para Tingo María se registra una humedad relativa promedio anual de 80%, con una precipitación de 3,400 milímetro anuales como promedio con una temperatura máxima de 29,8 °C y una temperatura mínima de 19,2 °C, siendo la temperatura media promedio anual de 24,5 °C.. La época lluviosa comienza entre octubre y noviembre y finaliza entre abril o mayo, durante el año siempre se tiene precipitaciones esporádicas. Sin embargo, en los últimos años el régimen de lluvias ha sido más frecuentes e intensas, ocasionando inundaciones y sequías que han afectado a la agricultura y a las poblaciones riverenías

##### 3.1.3. Relieve y Suelos

La fisiografía que acompaña al área de estudio se caracteriza por ser colinoso, perteneciente a áreas bajas de la cadena montañosa de la cordillera Azul, con áreas de planicie en las partes baja, se encuentra entre los 640 msnm.,

##### 3.1.4. Zona de vida

El área de estudio esta ubicado en la región natural de Selva Alta o Rupa Rupa, (Brack, 1986). perteneciente a la cuenca del Alto Huallaga. La zona de vida pertenece a un bosque húmedo premontano subtropical de acuerdo al Mapa Ecológico del Perú (1995).

### **3.1.5. Flora**

La flora que acompaña se caracteriza por ser áreas intervenidas, con vegetación herbácea y arbustiva con arboles dispersos o formando pequeños rodales en donde se frecuente observar especies de bolaina, moena alcanfor, moena negra, moena amarilla, cumala colorada, capirona, tornillo, guaba, shimbillo, pan de árbol, se tiene también especies forestales implementadas en proyectos de reforestación como caobas, cedros, cinchonas, quinillas entre otros

Entre las palmeras, destacan los aguajes, las huacraponas, yarinas, shapaja, cocos, y distintas especies de palmiche (*Geononia spp.*).

### **3.1.6. Fauna**

Es frecuente observar dentro de los maníferos al achuni, picuro, añuje, la carachupa, el armadillo, ardillas, mucas, añuje chico, ronsocos, diferentes especies de monos como el leoncito, el frailecito, los musmuquis, dentro de las aves se tiene a los manacaracos, tucanetas, loros, paucares, guardacaballos y otras pequeñas aves como los colibrís o picaflores.

### **3.1.7. Población Y Economía**

La población en su mayoría esta compuestas por inmigrantes del departamento de San Martín, y en los últimos años se ha incrementado la migración de las regiones de Cerro de Pasco, de la sierra de Huánuco especialmente de la provincia de Panao, Dos de Mayo y Huamalíes, y del departamento de Junín

Dentro de las actividades económicas, la ganadería es incipiente con la crianza de ganado ovino, la actividad industrial que esta tomando importancia con la industrialización del cacao y café, siendo la actividad agrícola la mas importante con los cultivos de café, cacao, plátano, arroz, cítricos, y otros frutales.

### **3.1.8. Caracterización del área de estudio**

Se tiene parcelas con sistemas agroforestales que han sido sembradas en áreas ex cocalas con la asociación de *Inga edulis* “huaba” sembrada en alta densidad con cultivo de *Theobroma cacao* “cacao” con tiempo de siembra de 2, 4, y 6 año, las que han sido evaluadas

### **3.2. Materiales y equipos**

Los materiales y equipos utilizados para la toma de las muestras de áreas a evaluar son:

- Balanza analítica
- Balanzas gramera
- Bolsas
- Brújula
- cámara fotográfica.
- computadoras.
- Cuchillo.
- Botas de jebe
- Estacas de madera.
- Estufa.
- Forcípula de 60 cm.
- GPS.
- Lápices, marcadores, sacapuntas
- Libreta de campo.
- Listones para marcar linderos y estacas
- Pala recta
- Pieza de 50 cm. x 50 cm. de malla galvanizada de 5 mm.
- Rafia
- Regla métrica (20 cm)
- Soga de 25 metros.
- Wincha de 60 metros.

### **3.3. Población**

Suelos Degradados ex cicales ubicados en el caserío de Ricardo Palma, 4 hectáreas.

### **3.3. Muestra**

Suelos abandonados degradados ex cicales, sistemas agroforestales con siembra de *Inga edulis* “huaba” y *Teobroma cacao* “cacao” de 2, 4, 6 Años de tiempo de siembra, 12 parcelas de 100 m<sup>2</sup>.

### **3.4. Nivel y tipo de estudio**

#### **3.4.1. Tipo de investigación: básica**

Porque se recurrió a los conocimientos básicos de las ciencias del suelo y ciencias ambientales para generar conocimiento que puede ser aplicado para evitar la pérdida de carbono del suelo y la forma como la aplicación de este conocimiento puede ayudar a disminuir un problema mundial del cambio climático específicamente del calentamiento global

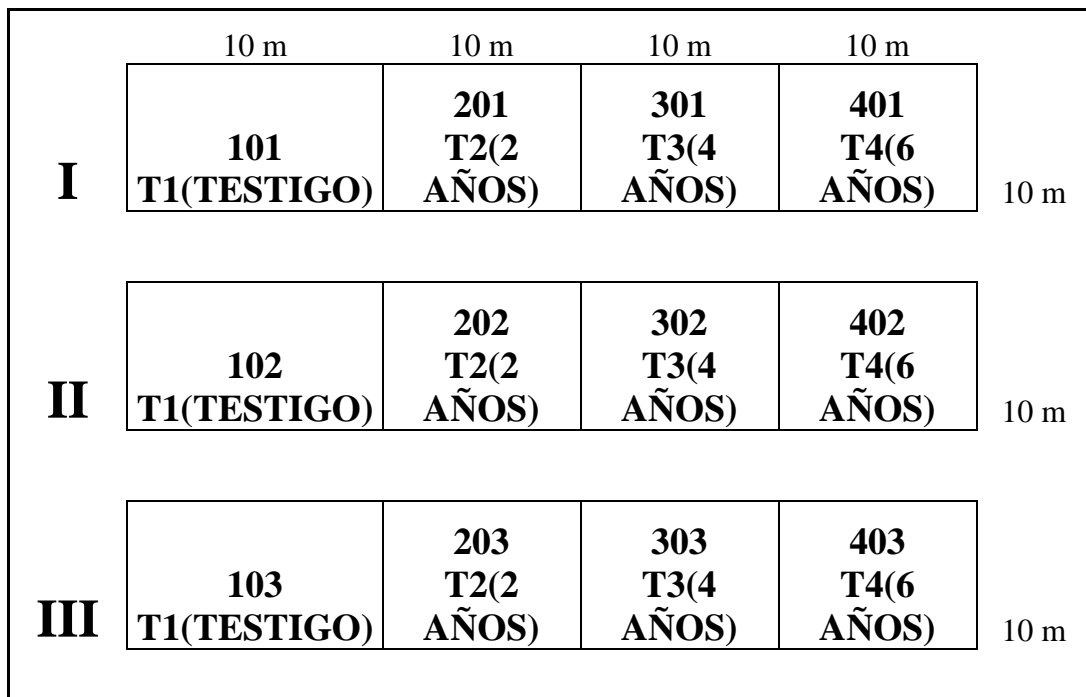
#### **3.4.2. Nivel de investigación: Experimental**

La variable independiente suelos degradados se manipulo y se midió la variable dependiente captura y almacenamiento de carbono en el suelo, mediante la siembra de *Inga edulis* “huaba” en el proceso de recuperación de un suelo degradado por aporte de materia orgánica y se comparo con un testigo (Sin sembrío de *Inga edulis* huaba)

### **3.5. Diseño de investigación**

Diseño de bloques completamente al azar con cuatro parcelas de 10 X 10 metros, con 3 repeticiones haciendo un total de 12 unidades experimentales

**Croquis del campo.**



**Figura 1.** Croquis de las unidades experimentales de muestreo del cultivo de *Inga edulis* “huaba”

### 3.6. Técnicas e instrumentos

#### 3.6.1. Técnicas estadísticas

Se utilizó el Análisis de varianza, para determinar la significancia entre bloque y entre tratamientos al 5 y 1%

Se comparó los promedios de los tratamientos mediante la prueba de Duncan 5% y al 1% de margen de error

#### 3.6.2. Tipo de muestreo

Probabilístico, con muestreo aleatorio simple porque cualquiera de los suelos degradados de la muestra tendrá la oportunidad de ser integrantes de la muestra del suelo para llevar al laboratorio

### **3.7. Metodología.**

#### **3.7.1. Fase de Campo**

##### **3.7.1.1. Delimitación**

Se ubicaron áreas con suelo degradados ex cicales, y áreas degradadas ex cicales con cultivo de *Inga edulis* “huaba” de 2,4, y 6 años de siembra, se trazaron bloques de 10 m x 30 m, con 3 sub parcelas de 10 X10, las mismas que fue geo referenciada con un GPS

##### **3.7.1.2. Recopilación de datos**

Se aplicó la metodología mencionada por el Centro Internacional para la Investigación en Agroforestería (ICARF), aplicando dicha metodología la recopilación de las muestras para determinar biomasa de las hojarascas, de raíces y aplicando la metodología de toma de muestras de suelo en las áreas seleccionadas se tomó muestras de suelos las que fueron llevadas a laboratorio de suelos para su análisis.

##### **3.7.1.3. Muestreo de suelos para análisis.**

Con un tubo muestreador de suelos se tomaron muestras a 20 cm., de profundidad con un peso aproximado de un kilogramo, que fue depositadas en bolsas de polietileno o de papel limpia, previamente etiquetadas con el código de parcela y subparcela,

Las muestras de suelo fueron preparadas, secadas y trituradas y analizadas

Los análisis correspondientes se realizaron en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María

. Para la determinación de carbono almacenado en el suelo, se aplicó el método de Walkley y Black (método de oxidación húmeda), la cual el % M.O (porcentaje de materia orgánica) fue proporcionado mediante el análisis de laboratorio.

#### **3.7.2. Fase de gabinete**

Se sistematizo la información y se realizó los cálculos correspondientes de acuerdo al objetivo propuesto comparando el testigo (suelo degradado ex cocal) y los diferentes tratamientos (suelos degradados ex cicales con cultivos de *Inga edulis* “huaba”

### 3.7.2.1. Cálculo del peso del suelo (t/ha)

Se calculó el peso del suelo por hectárea, evaluando primero la densidad aparente del suelo por cada uno de los horizontes o capas evaluados.

Peso suelo (t/ha) = 100 m x 100m X densidad del suelo t/ha X profundidad del suelo 0.20 m.

### 3.7.2.2. Densidad aparente del suelo (g/cc)

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

Dónde:

- DA* : Densidad aparente (g/cc).  
*PSN* : Peso seco del suelo dentro del cilindro.  
*VCH* : Volumen cilindro (constante).

### 3.7.2.3. Peso del suelo por estrato de muestreo

$$PVs \text{ (t/ha)} = DA \times Ps \times 10000$$

Dónde:

- PVs* : Peso del volumen de suelo (t/ha).  
*DA* : Densidad aparente (g/cc)  
*Ps* : Espesor o profundidad del horizonte del suelo (m).  
 10000 : Constante.

### 3.7.2.4. Cálculo del carbono en el suelo (t/ha)

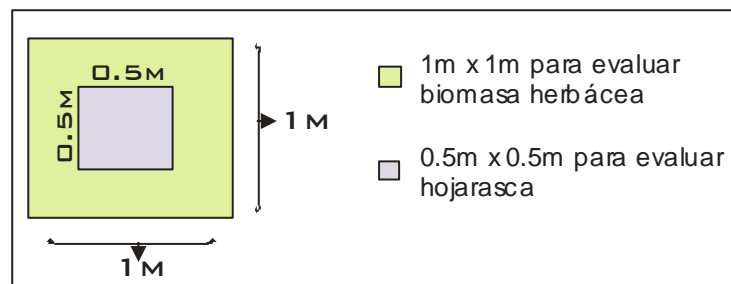
$$CS \text{ (t/ha)} = (PVs \times \%C)/100$$

Dónde:

- CS* : Carbono en el suelo (t/ha).  
*PVs* : Peso del volumen de suelo (t/ha).  
 % C : 0.38 X %MO (Walkley y Black, 1938).  
 100: Factor de conversión

### 3.7.3. Biomasa de las hojarascas (Bh)

Las muestras se tomaron de las subparcelas de 10 X 10, se cuantifico en base a la capa de mantillo u hojarasca y otros materiales muertos (ramillas, ramas), en el cuadrante 0.5 m x 0.5 m colocados dentro del cuadrante 1 m x 1 m (Figura 1). Se colectaron toda la hojarasca, se registra el peso fresco total por 0.25 m<sup>2</sup>; y luego se sacó una muestra se pone en el sobre manilla para transportarlo al laboratorio para ser pesados y puestos al horno a 75 °C., este peso seco se lleva a tn/ha y se multiplica por el factor 0.50, valor propuesto por el IPCC, para obtener la cantidad de C/ha.



**Figura 2.** Diseño de cuadrantes para determinar biomasa hojarasca.

Para estimar esta biomasa en tn/ha, Se procedió de la siguiente manera en base a la muestra recolectada en 0.25 M<sup>2</sup>

- $Bh \text{ (tn/ha)} = ((PSM/PFM) \times PFT) \times 0.04$

Donde:

Bh = biomasa de la hojarasca, materia seca

PSM = peso seco de la muestra colectada

PFM = peso fresco de la muestra colectada

PFT = peso fresco total por metro cuadrado

0.04 = factor de conversión

Para el cálculo de carbono de hojarasca Ch t/ha

$$CH = Bh \text{ (tn/ha)} \times 0.5$$

CH = carbono de hojarasca

Bh = biomasa de hojarasca  
 0.50= valor propuesto por IPCC.

### 3.7.4. Biomasa de las raíces (Br)

Las muestras se tomaron de las subparcelas de 10 X 10, se cuantificará en base a la raíces y raicillas presentes, en el cuadrante 0.5 m x 0.5 m colocados dentro del cuadrante 1 m x 1 m (Figura 1). Se colectaron toda la raíces y raicillas, se registró el peso fresco total por 0.25 m<sup>2</sup>; y luego se saca una muestra se pone en el sobre manilla para transportarlo al laboratorio para ser pesados y puestos al horno a 75 °C., este peso seco se lleva a tn/ha y se multiplica por el factor 0.50, valor propuesto por el IPCC, para obtener la cantidad de C/ha.

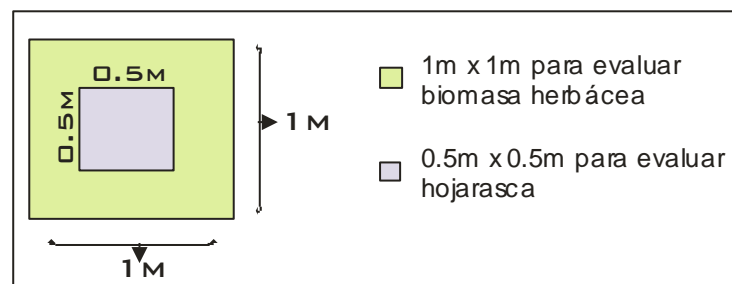


Figura 3. Diseño de cuadrantes para determinar biomasa radicular.

Para estimar esta biomasa en tn/ha, se debe utilizar la siguiente ecuación:

- $Br \text{ (tn/ha)} = ((PSM/PFM) \times PFT) \times 0.04$

Donde:

Br = biomasa de la raíz, materia seca  
 PSM = peso seco de la muestra colectada  
 PFM = peso fresco de la muestra colectada  
 PFT = peso fresco total por metro cuadrado  
 0.04 = factor de conversión

Para el cálculo de carbono de la biomasa radicular Br

$$CR = Br \text{ (tn/ha)} \times 0.5$$

- CR = carbono de raíces  
Br = biomasa de raíces  
0.50 = valor propuesto por IPCC.

### **3.7.5. Cálculo del carbono total del SAF (t/ha.)**

$$CT (t/ha.) = CS + CH + CR$$

Dónde:

- CT* : Carbono total del sistema agroforestal (t/ha.)  
*CBV* : Carbono en la biomasa vegetal total (t/ha.)  
*CS* : Carbono en el suelo (t/ha.)

### **3.7.6. Para determinar diferencias significativas entre tratamientos**

Se realizó mediante la prueba de ANOVA y Duncan

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Carbono orgánico en el suelo.

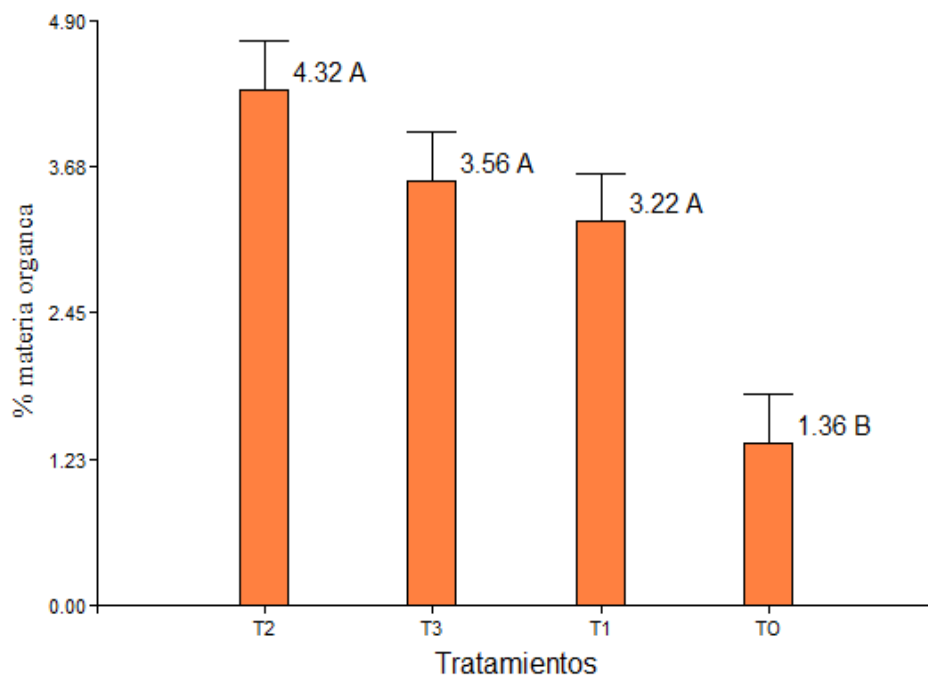
En la **Tabla 1**, se muestra el análisis de varianza para el porcentaje de materia orgánica en el suelo, donde se registró diferencias estadísticas en los diferentes tratamientos, lo que indica que al menos un tratamiento es diferente al otro.

**Tabla 1.** Análisis de varianza de % de materia orgánica en el suelo

FV	SC	GL	CM	F	P valor
Tratamientos	14.21	3	4.737	9.476	0.011*
BLOQUES	0.57	2	0.286	0.572	0.592
Error	3.00	6	0.500		
Total	17.78	11			

R<sup>2</sup>: 0.83; CV: 22.89%; \*: Significativo; FV: Fuente de variación; SC: Suma de cuadrados; GL: Grados de libertad; CM: Cuadrado medio

De acuerdo a la prueba de Duncan al 95%, los análisis de laboratorio nos reportan el porcentaje de materia orgánica en el suelo donde se puede apreciar que en el testigo suelos degradados ex cicales presenta un bajo porcentaje en materia orgánica estadísticamente inferior a los demás tratamientos en estudio con 1.36%. Mientras que numéricamente el T<sub>2</sub> (suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal siembra de guaba y cacao de 4 años) fue superior numéricamente a los demás tratamientos con 4.32%.



**Figura 4.** Comparación de medias para el porcentaje de materia orgánica

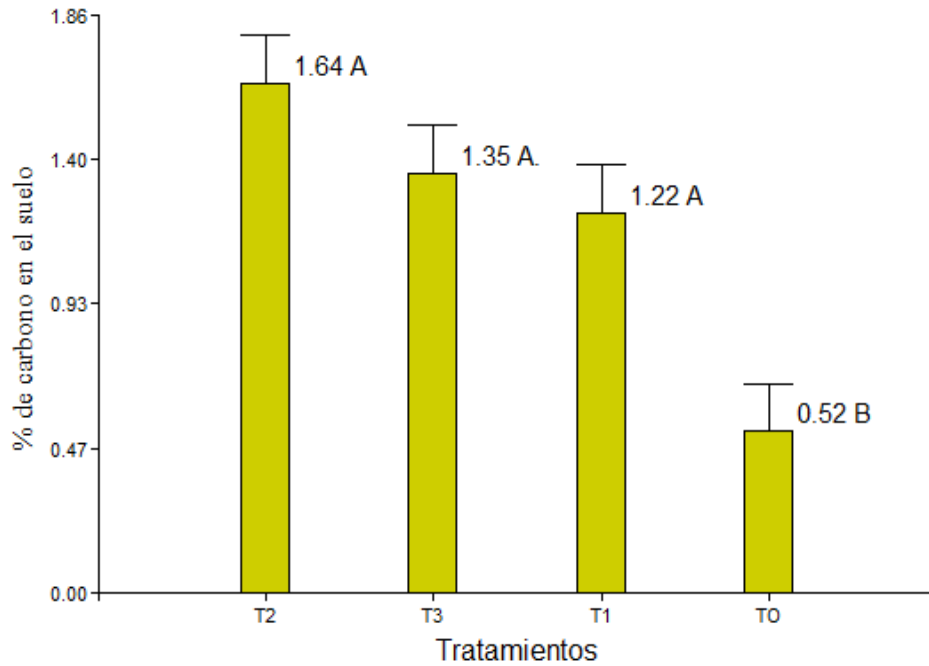
En la **Tabla 2**, se muestra evidencias estadísticas significativa para el porcentaje de carbono en el suelo por efecto de los tratamientos en estudio.

**Tabla 2.** Análisis de varianza de % de carbono en el suelo

FV	SC	GL	CM	F	P valor
Tratamientos	2.05	3	0.682	9.4	0.011*
BLOQUES	0.08	2	0.041	0.564	0.597
Error	0.44	6	0.073		
Total	2.56	11			

R<sup>2</sup>: 0.83; CV: 22.73%; \*: Significativo; FV: Fuente de variación; SC: Suma de cuadrados; GL: Grados de libertad; CM: Cuadrado medio

En la **Figura 5**, se muestra la prueba de comparación de medias del carbono en el suelo, donde los T<sub>2</sub> (suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal siembra de guaba y cacao de 4 años), T<sub>3</sub> (suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal siembra de guaba y cacao de 6 años) y T<sub>1</sub> (suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal con siembra de guaba y cacao de 2 años) fueron superior estadísticamente con 1,64, 1.35 y 1.22% respectivamente a comparación del testigo. En tal sentido, Ordóñez *et al.* (2008) nos comenta que la distribución del carbono en el suelo, se tiene que a una profundidad de 0 a 30 cm., es el lugar donde se almacena la mayor cantidad de carbono, como CO<sub>2</sub> o carbono orgánico, en áreas con actividad agrícola o ganadera, en los sistemas agroforestales el carbono presenta mayor porcentaje en la biomasa viva, coincidiendo con lo manifestado ya que los resultados del presente trabajo aunque solamente se muestreo a una profundidad de 20 cm se reporta altas concentraciones de carbono en suelos asociados con la siembra de guaba y cacao.



**Figura 5.** Comparación de medias de porcentaje de carbono en el suelo

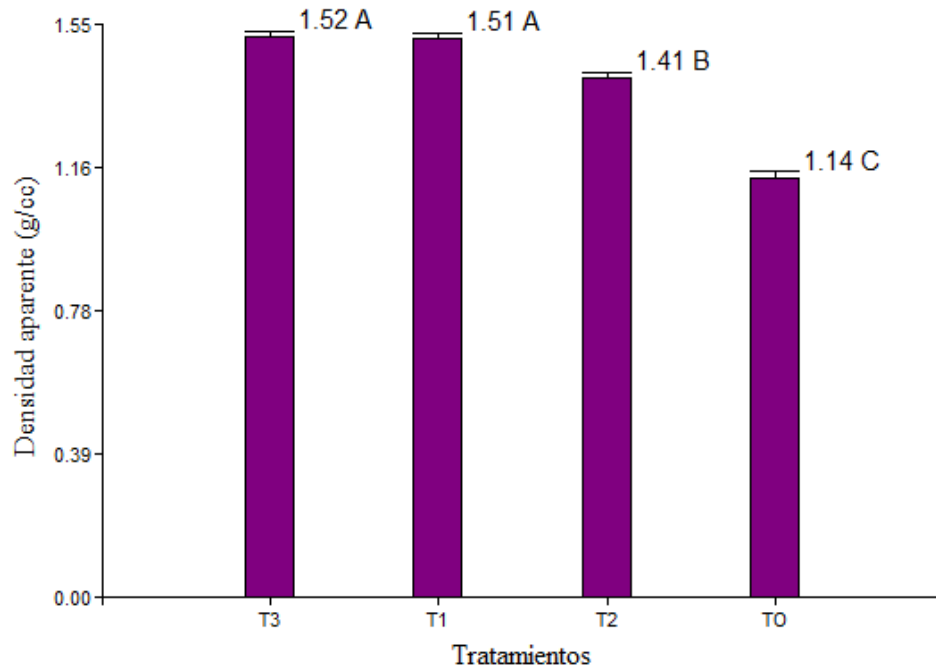
Con respecto a la densidad aparente del suelo (g/cc), se muestra que existe diferencias altamente entre los diferentes tratamientos en estudio (**Tabla 3**)

**Tabla 3.** Análisis de varianza de la densidad aparente del suelo (g/cc)

FV	SC	GL	CM	F	P valor
Tratamientos	0.29	3	0.10	124.783	0.0001**
BLOQUES	4.70E-04	2	2.30E-04	0.304	0.7484
Error	4.70E-03	6	7.70E-04		
Total	0.29	11			

R2: 0.98; CV: 1.99%; \*: Significativo; FV: Fuente de variación; SC: Suma de cuadrados; GL: Grados de libertad; CM: Cuadrado medio

En la prueba de comparación de medias, los tratamientos que tuvieron mayores valores estadísticamente en la densidad aparente son el T<sub>3</sub> (suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal siembra de guaba y cacao de 6 años) y T<sub>1</sub> (suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal con siembra de guaba y cacao de 2 años) con valores de 1.52 y 1.51 g/cc respectivamente (**Figura 6**).



**Figura 6.** Comparación de medias con respecto a la densidad aparente (g/cc)

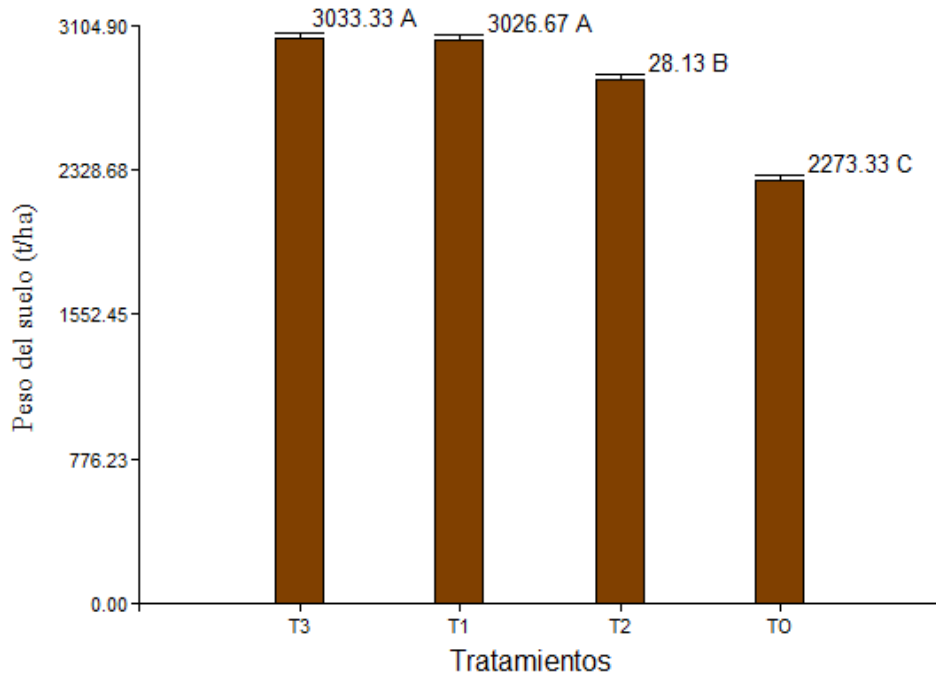
El peso del suelo (t/ha) reporto diferencias estadísticas altamente significativas en los distintos tratamientos en estudio (**Tabla 4**).

**Tabla 4.** Análisis de varianza del peso del suelo (t/ha)

FV	SC	GL	CM	F	P valor
Tratamientos	1148000	3	382667	124.78	0.0001**
BLOQUES	1866.67	2	933	0.30	0.748
Error	18400	6	3067		
Total	1168266.67	11			

R2: 0.98; CV: 1.99%; \*: Significativo; FV: Fuente de variación; SC: Suma de cuadrados; GL: Grados de libertad; CM: Cuadrado medio

Al realizar la prueba de comparación de medias para el peso del suelo (t/ha) los tratamientos T<sub>3</sub> (suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal siembra de guaba y cacao de 6 años) y T<sub>1</sub> (suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal con siembra de guaba y cacao de 2 años) fueron superiores estadísticamente con valores de 3033.33 y 3026.67 t/ha respectivamente, a comparación de los demás tratamientos (**Figura 7**).



**Figura 7.** Prueba de comparación de medias para el peso del suelo (t/ha)

En la **Tabla 5**, se muestra el análisis de varianza al 95% nivel de confianza, donde existe diferencias altamente significativas entre los tratamientos en estudio con respecto al carbono en el suelo (t/ha)

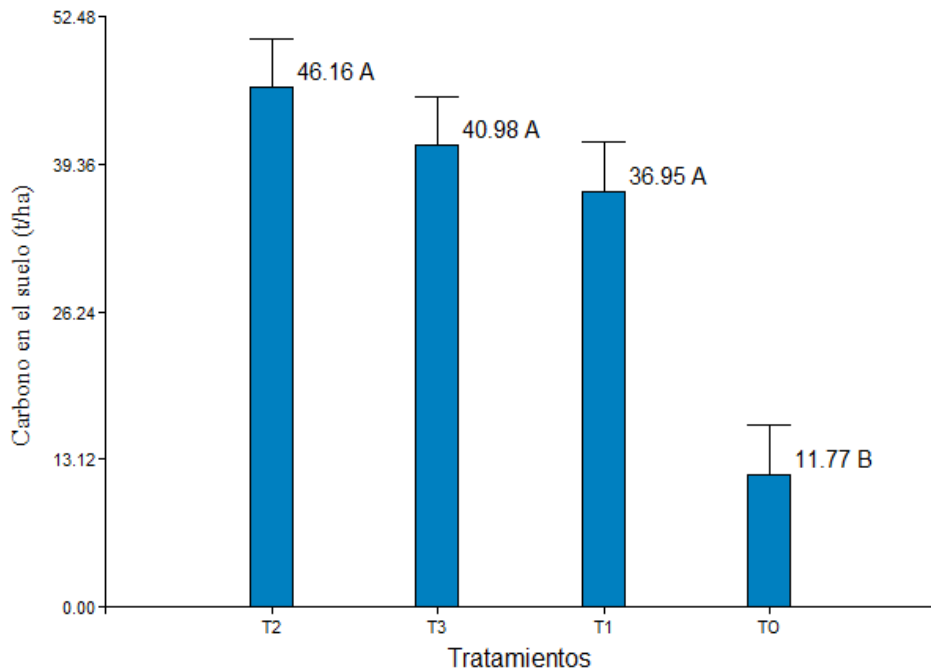
**Tabla 5.** Análisis de varianza del carbono en el suelo (t/ha)

FV	SC	GL	CM	F	P valor
Tratamientos	2098.37	3	699.46	12.147	0.0058**
BLOQUES	55.6	2	27.8	0.483	0.639
Error	345.5	6	57.58		
Total	2499.47	11			

R<sup>2</sup>: 0.86; CV: 2.34%; \*\* Altamente significativo; \*: Significativo; FV: Fuente de variación; SC: Suma de cuadrados; GL: Grados de libertad; CM: Cuadrado medio

En la **Figura 8**, muestra la prueba de comparación de medias donde el testigo (suelo degradado ex cocal) resulto ser inferior estadísticamente a los demás tratamientos con 11.77 t/ha, mientras , en el tratamiento T<sub>1</sub> (suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal con siembra de guaba y cacao de 02 años) se tiene 36.95 t/ha, el tratamiento T<sub>2</sub> (suelos

degradados ex cicales con sistema agroforestal con siembra de guaba y cacao de 4 años) se tiene 46.16 t/ha., el tratamiento T3 (suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal siembra de guaba y cacao de 6 años) con 40.98 t/ha.



**Figura 8.** Comparación de medias del carbono del suelo t/ha)

En tal sentido, para carbono en el suelo el mejor tratamiento fue T2 (suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal con siembra de guaba y cacao de 4 años) con 46.16 t/ha, seguido de este esta el T3 (suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal siembra de guaba y cacao de 6 años) con 40.98 t/ha, posterior a este se encuentra el T1 (suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal con siembra de guaba y cacao de 02 años) con 36.95 t/ha y por último el Testigo (suelo degradado ex cocal) que obtuvo el resultado menor con 11.77 t/ha, con respecto a los demás (**Tabla 5 y Figura 8**); con respecto a estos resultados con Jara (2016) en su investigación en dos tipos de sistemas agroforestales cacao y café en el almacenamiento de carbono en el suelo, el sistema 1 con 5 años y el sistema 2 con 15 años, mostro los siguiente resultados para el SAF con cacao en carbono almacenado para el suelo es de 62.473 t/ha,; por otro lado para el SAF con café en carbono almacenado para el suelo es de

52.53 t/ha, lo que nos indica que estos resultados fueron superiores a los de nuestra investigación debido a que el área no se encontraba en estado de degradación por cicales, esto puede influir en el rango de carbono almacenado en el suelo. Por otro lado, Villogas (2013) en su investigación sobre el almacenamiento de carbono en cacao en producción de sistema agroforestal en parcela de 6, 8, 10 años. por consiguiente el almacenamiento de carbono en el suelo de los SAF resultaron para la parcela de 6 años con 62.95 t C/ha, para 8 años 62.46 t C/ha y para 10 años 73.73 t C/ha, en comparación con nuestros resultados el T3 (suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal siembra de guaba y cacao de 6 años) con 40.98 t/ha, con lo que se puede concluir que nivel de carbono almacenado en los sistemas más antiguos es mayor, sin embargo en el T3 por característica del área ex cicales y en estado de degradación tuvo un almacenamiento inferior con respecto a la información del autor. De la misma forma Herrera (2010) en su investigación sobre estimar la biomasa y el carbono almacenado en dos sistemas agroforestales de cacao de diferentes edades, en dos sistemas SAF cacao + guaba y SAF cacao + bolaina con las siguientes edades 2-3, 3-4, 4-5 años de siembra. Para los resultados de carbono a nivel de plantaciones en el SAF de cacao + guaba con 39.00, 43.75 y 62.11 t C/ha en 2-3, 3-4 y 4-5 respectivamente; por otro lado en el SAF cacao + bolaina con 33.99, 40.62 y 51.41 t C/ha en 2-3, 3-4 y 4-5 respectivamente; de acuerdo a la información del autor se pueden afirmar que las edades de las plantaciones influyen en gran magnitud al almacenamiento de carbono, al igual que la condición de suelo en actividades pasadas. Por otro lado Bringas (2010) en su investigación realizo en un sistema agroforestal de cacao en comparación con un bosque sistemas SAF cacao + laurel y bosque secundario en edades de 9, 10, 11 años; donde muestran el promedio de carbono total para el suelo con 53.1% y 44.2% para bosque secundario y SAF, respectivamente.

#### 4.2. Carbono almacenado en la hojarasca.

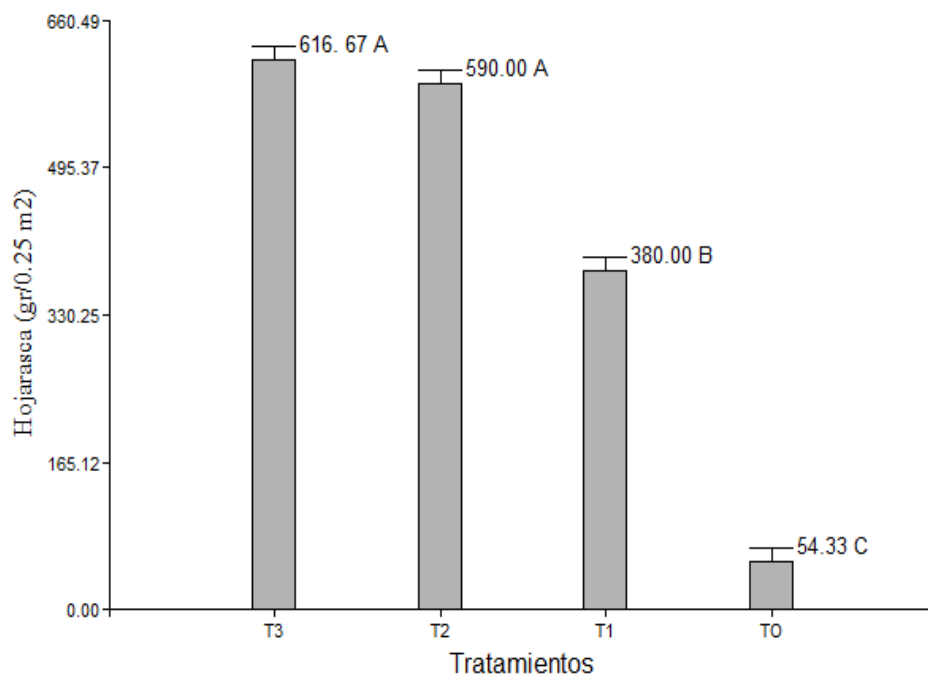
Para el peso fresco total de la hojarasca recolectada ( $\text{gr}/0.25\text{m}^2$ ), se registró evidencias altamente significativas entre los diferentes tratamientos con p valor menor que el 5%.

**Tabla 6.** Peso fresco total hojarasca recolectada  $\text{gr}/0.25\text{m}^2$

FV	SC	GL	CM	F	P valor
Tratamientos	607528.92	3	202509.64	301.665	0.0001**
BLOQUES	1071.5	2	535.75	0.798	0.493
Error	4027.83	6	671.31		
Total	612628.25	11			

R<sup>2</sup>: 0.99; CV: 6.32%; \*\* Altamente significativo: \*: Significativo; FV: Fuente de variación; SC: Suma de cuadrados; GL: Grados de libertad; CM: Cuadrado medio

Al comparar estadísticamente el peso fresco de la hojarasca, los tratamientos que fueron superiores fue el T<sub>3</sub> (suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal siembra de guaba y cacao de 6 años) y T<sub>2</sub> (suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal siembra de guaba y cacao de 4 años) con valores de 616.57 y 590.00 gr respectivamente



**Figura 9.** Comparación de medias de hojarasca colectada ( $\text{gr}/0.25\text{m}^2$ )

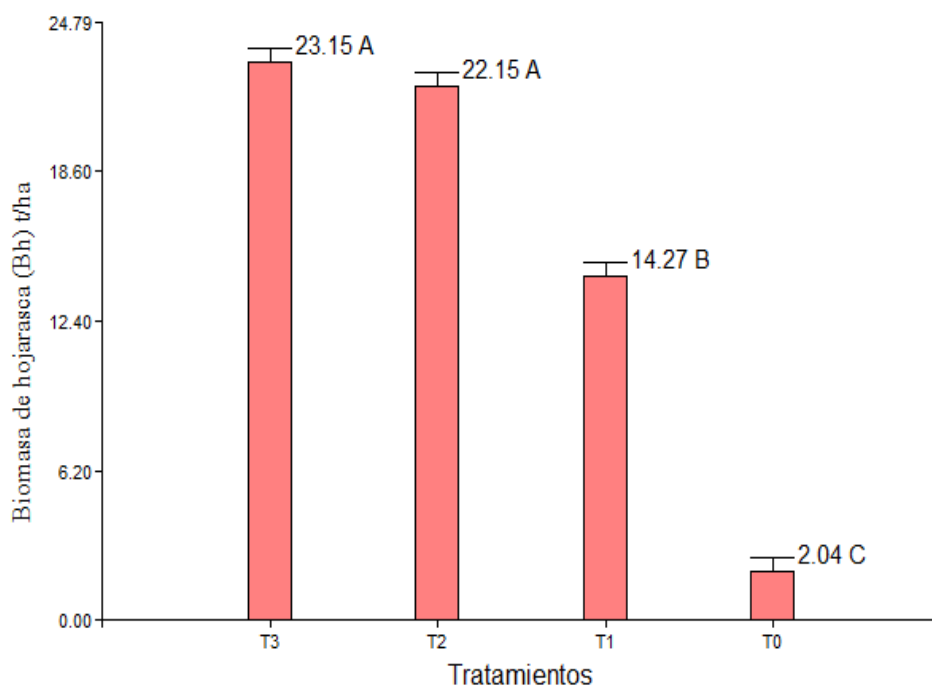
Al analizar la varianza de la biomasa de hojarasca (t/ha) se registró diferencias altamente significativa, lo que indica que al menos un tratamiento en estudio es diferente al otro (**Tabla 7**).

**Tabla 7.** Biomasa de las hojarasca (Bh) t/ha

FV	SC	GL	CM	F	P valor
Tratamientos	856.06	3	285.354	302.428	0.000**
BLOQUES	1.52	2	0.758	0.804	0.491
Error	5.66	6	0.944		
Total	863.24	11			

R<sup>2</sup>: 0.99; CV: 6.31%; \*\* Altamente significativo: \*: Significativo; FV: Fuente de variación; SC: Suma de cuadrados; GL: Grados de libertad; CM: Cuadrado medio

La prueba de comparación de medias, muestra que, los tratamientos el T<sub>3</sub> (suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal siembra de guaba y cacao de 6 años) y T<sub>2</sub> (suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal siembra de guaba y cacao de 4 años) fueron superiores estadísticamente con valores de 23.15 y 22.15 t/ha, respectivamente (**Figura 10**).



**Figura 10.** Comparación de medias biomasa de las hojarasca (Bh) t/ha

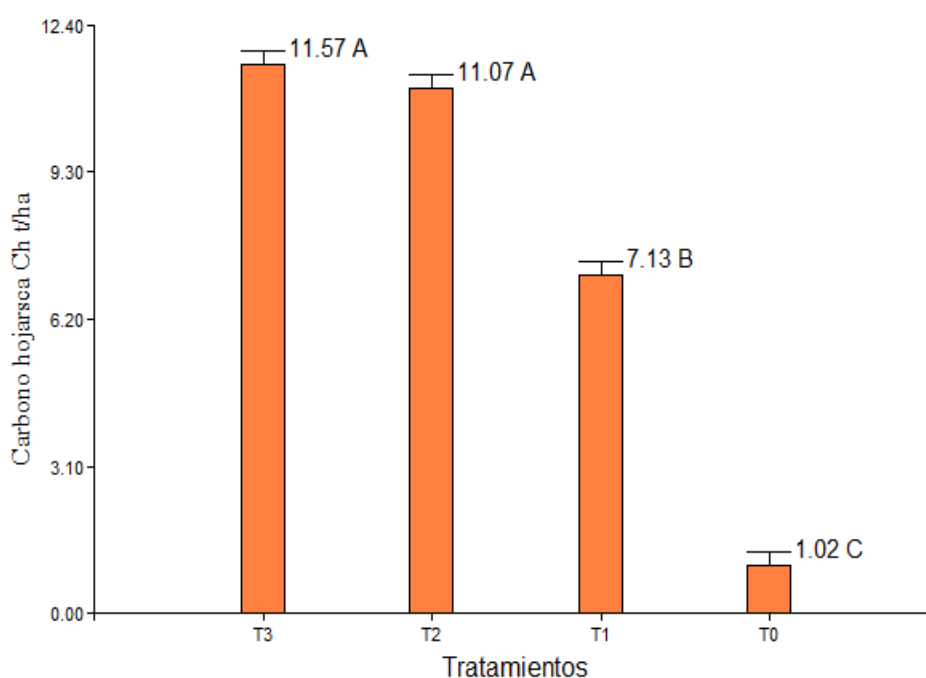
De la misma manera para el carbono de hojarasca (t/ha) se encontró diferencias estadísticas (p valor menor que el 5%) en los diferentes tratamientos.

**Tabla 8.** Carbono de hojarasca Ch t/ha

FV	SC	GL	CM	F	P valor
Tratamientos	213.98	3	71.326	299.992	0.0001**
BLOQUES	0.38	2	0.189	0.796	0.493
Error	1.43	6	0.238		
Total	215.78	11			

R<sup>2</sup>: 0.99; CV: 6.33%; \*\* Altamente significativo; \*: Significativo; FV: Fuente de variación; SC: Suma de cuadrados; GL: Grados de libertad; CM: Cuadrado medio

En la **Figura 11**, al comparar estadísticamente con la prueba de Duncan, con respecto al carbono de hojarasca Ch t/ha, donde se muestra una diferencia estadística, siendo mejor el T<sub>3</sub> (suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal siembra de guaba y cacao de 6 años) y T<sub>2</sub> (suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal siembra de guaba y cacao de 4 años) fueron superiores estadísticamente con valores de 11.57 y 11.07 t/ha, respectivamente.



**Figura 11.** Comparación de medias carbono de hojarasca Ch t/ha

Del mismo, Sarah (2012) menciona que la materia orgánica presente en el suelo que es incorporado de diversas maneras ya sea por procesos fotosintéticos en donde se utiliza el CO<sub>2</sub> atmosférico, o por la incorporación de residuos orgánicos como hojarasca, ramas frutales, es lo que se considera como secuestro y almacenamiento de carbono, y que el aumentar la cantidad de carbono orgánico en el suelo formando agregados en donde la actividad microbiana no participe y no se produzca la degradación de la materia orgánica, conservándose por largos periodos son estrategias para aumentar la cantidad de carbono orgánico al suelo, y que la gestión del suelo es importante en su conservación y que una mala gestión del uso del suelo agotaría el carbono orgánico con las consiguientes emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, coincidiendo con lo manifestado ya que en la presente investigación se puede apreciar la poca cantidad de materia orgánica que está presente en el suelo degradado ex cocal y esto principalmente por la mala gestión sobre el uso del suelo así mismo podemos indicar como parte del almacenamiento de carbono gran parte corresponde al carbono fijado como materia orgánica en los diferentes tratamientos en estudio.

#### 4.3. Carbono almacenado en el sistema radicular.

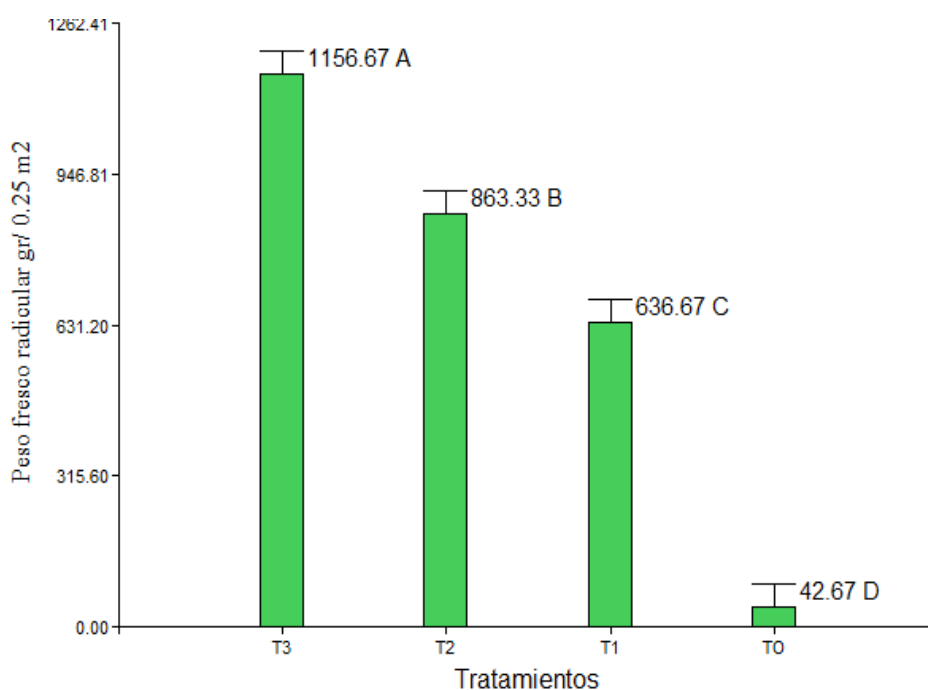
Con la finalidad de evidenciar diferencias estadísticas significativas para el sistema radicular gr en una superficie de 0.25 m<sup>2</sup> donde se registró diferencias altamente significativas entre los tratamientos (p valor menor que el 5%).

**Tabla 9.** Peso fresco total recolectada en el sistema radicular gr/ 0.25 m<sup>2</sup>

FV	SC	GL	CM	F	P valor
Tratamientos	2006361	3	668787	98.148	0.0001**
BLOQUES	6408.17	2	3204.083	0.47	0.646
Error	40884.5	6	6814.083		
Total	2053653.67	11			

R<sup>2</sup>: 0.98; CV: 12.23%; \*\* Altamente significativo; \*: Significativo; FV: Fuente de variación; SC: Suma de cuadrados; GL: Grados de libertad; CM: Cuadrado medio

Para corroborar cuál de los tratamientos es mejor, se muestra la prueba de comparación de medias de Duncan, donde el T<sub>3</sub> (suelos degradados ex cacaos con sistema agroforestal siembra de guaba y cacao de 6 años) fue superior estadísticamente con 1158.87 gr, con respecto a los demás tratamientos (**Figura 12**).



**Figura 12.** Comparación de medias del peso fresco radicular gr/ 0.25 m<sup>2</sup>

De igual manera la biomasa radicular (t/ha) se registró diferencias estadísticas altamente significativas entre los distintos tratamientos (**Tabla 10**).

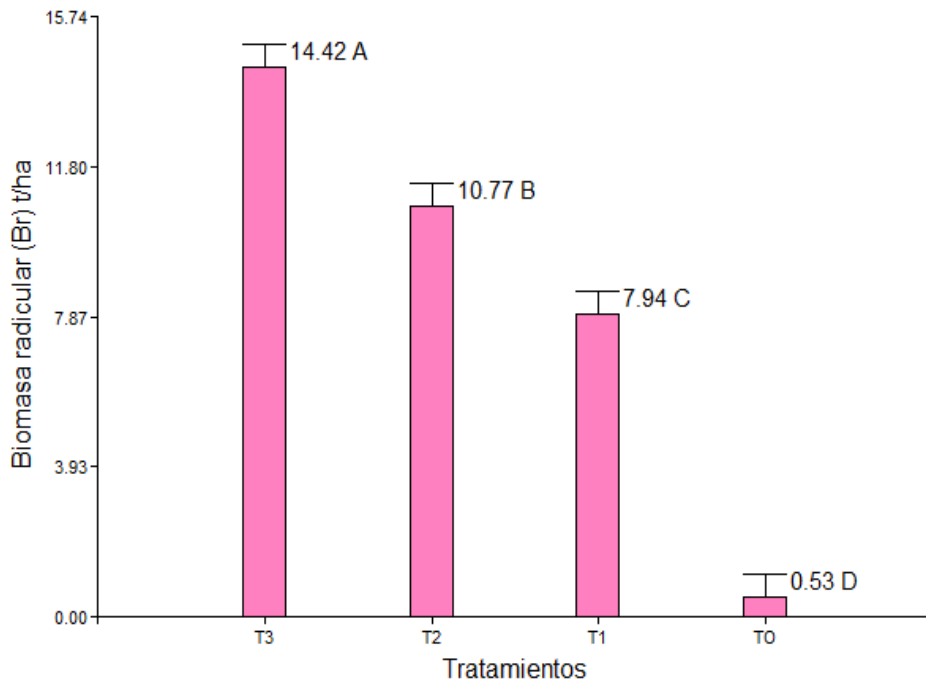
**Tabla 10.** Biomasa radicular (Br) t/ha

FV	SC	GL	CM	F	P valor
Tratamientos	311.82	3	103.94	98.289	0.0001**
BLOQUES	0.99	2	0.497	0.47	0.646
Error	6.34	6	1.057		
Total	319.16	11			

R<sup>2</sup>: 0.98; CV: 12.22%; \*\* Altamente significativo; \*: Significativo; FV: Fuente de variación; SC: Suma de cuadrados; GL: Grados de libertad; CM: Cuadrado medio

Con el fin de evaluar y comparar entre los distintos tratamientos en estudio, en la **Figura 13**, se muestra la prueba de Duncan, donde mayor biomasa radicular (t/ha) en el T<sub>3</sub>

(suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal siembra de guaba y cacao de 6 años) con un promedio de 14.42 t/ha.



**Figura 13.** Comparación de medias para la biomasa radicular (Br) t/ha

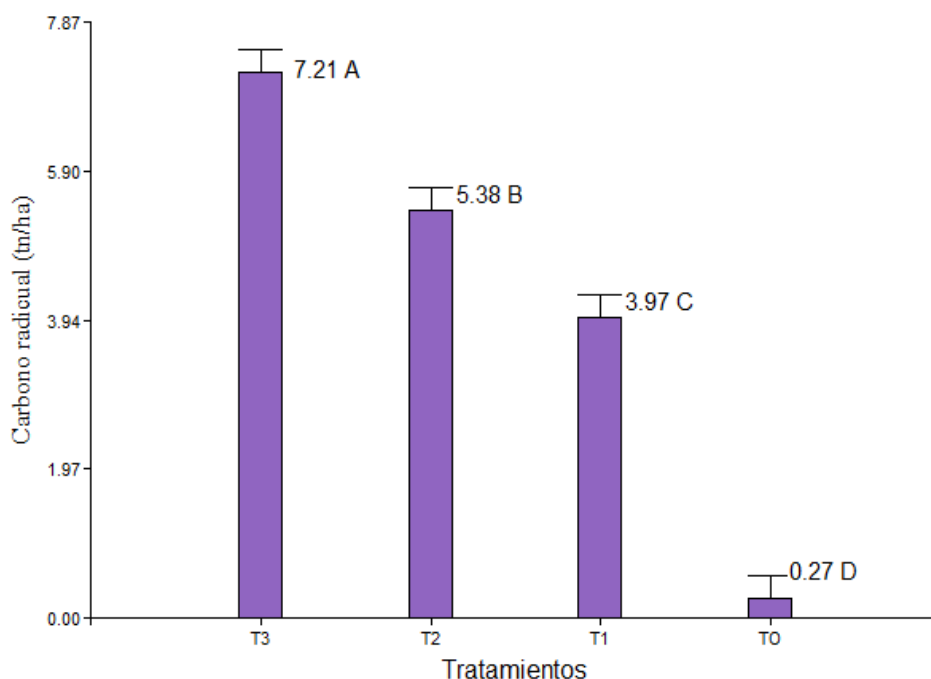
En la **Tabla 11**, se muestra el análisis de varianza al 95% de nivel de confianza con respecto al carbono radicular (tn/ha), donde se evidencian diferencias estadísticas altamente significativas entre los diferentes tratamientos (p valor menor que el 5%)

**Tabla 11.** Carbono en la biomasa radicular Cr tn/ha

FV	SC	GL	CM	F	P valor
Tratamientos	77.93	3	25.976	97.567	0.0001**
BLOQUES	0.25	2	0.125	0.469	0.647
Error	1.6	6	0.266		
Total	79.78	11			

R<sup>2</sup>: 0.98; CV: 12.27%; \*\* Altamente significativo; \*: Significativo; FV: Fuente de variación; SC: Suma de cuadrados; GL: Grados de libertad; CM: Cuadrado medio

En la **Figura 14**, se muestra la prueba de comparación de medias de Duncan, para el carbono radicular, donde el mejor tratamiento fue T<sub>3</sub>(suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal siembra de guaba y cacao de 6 años) con un promedio de 7.21 tha.



**Figura 14.** Comparación de medias de carbono en la biomasa radicular Cr tn/ha

Para el carbono total incorporado y almacenado en el suelo (t/ha), en la **Tabla 12**, se muestra que el carbono del suelo fue superior en el T<sub>2</sub> (suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal siembra de guaba y cacao de 4 años) con 46.16 t/ha, para el carbono de hojarasca y radicular el que arrojó mejores resultados fue el T<sub>3</sub> (suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal siembra de guaba y cacao de 6 años), con 11.58 t/ha y 7.21 t/ha respectivamente.

**Tabla 12.** Carbono total incorporado y almacenado en el suelo t/ha

Descripción	Tratamientos			
	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
Carbono suelo	11.77	36.96	46.16	40.98
carbono hojarasca	1.02	7.13	11.07	11.58
Carbono radicular	0.27	3.97	5.38	7.21
<b>TOTAL</b>	<b>13.06</b>	<b>48.06</b>	<b>62.61</b>	<b>59.77</b>

En tal sentido, se tiene que para Carbono almacenado en hojarasca el mejor tratamiento fue T3 (suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal siembra de guaba y cacao de 6 años), con 11.58 t/ha, a este le sigue el T2 (suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal siembra de guaba y cacao de 4 años) con 11.02 t/ha, luego el T1 (suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal con siembra de guaba y cacao de 02 años) con 7.13 t/ha y por ultimo el Testigo (suelo degradado ex cocal) con 1.02 t/ha (**Tabla 12**), a diferencia de nuestros resultados a Silva y Olaya (2019) en su investigación sobre carbono almacenado en sistema agroforestal de café asociado con guaba, con 15 años, con la metodología de ICRAF 2009, obtuvo resultados de carbono almacenado en la necromasa con 6.34 tC/ha, que fueron en rango menor al T1 (suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal con siembra de guaba y cacao de 02 años) con 7.13 t/ha donde se concluye que el almacenamiento de carbono es menor a los resultados de nuestra investigación esto se debe a diversos factores climáticos y edáficos del lugar. Por otro lado, Jara (2016) en su investigación en dos tipos de sistemas agroforestales cacao y café en el almacenamiento de carbono en el suelo, el sistema 1 con 5 años y el sistema 2 con 15 años con características del suelo textura franco limoso arcilloso para ambos. En los resultados para el SAF con cacao en carbono almacenado para la hojarasca es de 11.155 t/ha; para el SAF con café en carbono almacenado para la hojarasca es de 6.65 t/ha, al igual que anterior autor los resultados difieren estos debido al tipo de sistema agroforestal, la edad, factores de clima y suelo; ya que hay factores externos que pueden influenciar en la absorción de carbono. De la misma forma Mondragón (2019) en su investigación sobre el carbono total almacenado en cacao, en una plantación de 6 años donde se trabajó con la metodología de (ICRAF, 2009). En los resultados el carbono en la necromasa fue 13.6 t/ha, donde concuerda o los resultados se acerca en una diferencia mínima, esto se debe al nivel de degradación que tiene el área de la investigación ya que ser ex cocal puede influenciar en la absorción de carbono.

En tal sentido, se tiene que para Carbono almacenado en hojarasca el mejor tratamiento fue T3 (suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal siembra de guaba y cacao de 6 años), con 7.21t/ha, a este le sigue el T2 (suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal siembra de guaba y cacao de 4 años) con 5.38 t/ha, luego el T1 (suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal con siembra de guaba y cacao de 02 años) con 3.97 t/ha y por último el Testigo (suelo degradado ex cocal) con 0.27 t/ha (**Tabla 12**), del mismo modo Jara (2016) en su investigación en dos tipos de sistemas agroforestales cacao y

café en el almacenamiento de carbono en el suelo, el sistema 1 con 5 años y el sistema 2 con 15 años con características del suelo textura franco limoso arcilloso para ambos, la metodología empleada fue de ICRAF. En los resultados para el SAF con cacao en carbono almacenado para la raíz es de 2.27 t/ha; por otro lado para el SAF con café en carbono almacenado para la raíz es de 1.006 t/ha, con estos resultados podemos concluir que el almacenamiento de carbono en las raíces no son similares ya que puede influenciar la diferencia de terreno, y la especie del cultivo. Por otro lado, Hernández *et al.* (2013) nos afirma que los suelos tienen un alto potencial para la captura y almacenamiento de carbono considerado además como el carbono más estable dentro del ecosistema, por lo que se debe replantear los sistemas productivos dependiendo de los diversos factores climáticos y que se incluya estrategias en el manejo productivo de los cultivos, priorizando la conservación de los recursos naturales, donde podemos coincidir con lo manifestado ya que como se puede apreciar en los resultados se tiene una alta acumulación de carbono en los suelos y que además este va incrementándose con los años al implementarse los sistemas productivos de manejo de este sistema agroforestal y que podría ser utilizado como modelo de un manejo sostenible del suelo y no solo el uso de guaba como una especie de sombra, sino también otras especies de leguminosas arbóreas de rápido crecimiento.

## V. CONCLUSIONES

1. El carbono del suelo (t/ha) fue el testigo (suelo degradado ex cocal) resulto ser inferior estadísticamente a los demás tratamientos con 11.77 t/ha, mientras, los demás tratamientos T<sub>1</sub> (suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal con siembra de guaba y cacao de 02 años), el tratamiento T<sub>2</sub> (suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal con siembra de guaba y cacao de 4 años) y T<sub>3</sub> (suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal siembra de guaba y cacao de 6 años) fueron similares estadísticamente con valores de 36.95 t/ha, 46.16 t/ha, 40.98 t/ha respectivamente.
2. El carbono de la hojarasca fue mejor estadísticamente el T<sub>3</sub> (suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal siembra de guaba y cacao de 6 años) y T<sub>2</sub> (suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal siembra de guaba y cacao de 4 años) fueron superiores estadísticamente con valores de 11.57 y 11.07 t/ha, respectivamente.
3. Al comparar el carbono radicular, el que obtuvo mejor respuesta fue el T<sub>3</sub>(suelos degradados ex cicales con sistema agroforestal siembra de guaba y cacao de 6 años) con un promedio de 7.21 tha.

## **VI. RECOMENDACIONES**

4. Continuar con los estudios relacionando con otras actividades antropogénicas que este afectando el equilibrio de los diferentes ecosistemas sobre el uso de los suelos.
5. Evaluar especies forestales para la recuperación de los suelos degradados y su importancia para el almacenamiento de dióxido de carbono en el suelo.
6. Evaluar diferentes residuos orgánicos que se incorporan normalmente en las actividades agrícolas, para determinar qué tipo de residuo contribuye a la incorporación y almacenamiento de carbono en el suelo

## VII. BIBLIOGRAFIA

- Angers, D. and Chenu, C. (1998), Dinámica de agregación de suelos y secuestro de C. En: Procesos del suelo y ciclo del carbono. Lal, R., Kimble, J., Flétt, R. and Stewart (ed.). Chapter 1. CRC. Boca Raton, Florida pp: 199-223.
- Aragao L., Malhi Y., Metcalfe D., (2009), Productividad primaria neta por encima y por debajo del suelo en diez bosques amazónicos en suelos contrastantes. *Biogeociencias*
- Benjamin, J. (1999), Captura de carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán. México. INI- SEMARNAP. 74 p.
- Brack A., Y Mendiola C. (2000), Ecología Del Perú. [http://www.peruecologico.com.pelib\\_c2.htm](http://www.peruecologico.com.pelib_c2.htm)
- Bringas, H. (2010). *Estimación del carbono almacenado en un sistema agorforestal de cacao (Theobroma cacao L.) comparado con un bosque secundario de tres edades*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/119>.
- Brown S. (1996), Papel actual y potencial de los bosques en el cambio climático global debate. *Unasylva* 185:3-10.
- Brown S. (1996), Los bosques tropicales y el ciclo global del carbono: estimación del estado y cambio en la densidad de la biomasa. En: Apps, M. J. y Price, D. T. (eds). *Ecosistemas forestales, ordenación forestal y ciclo global del carbono*. Springer-Verlag. Berlina.pp. 133-144.
- Campbell, C., B. McConkey, R. Zentner, F. Dyck, F. Selles, and D. Curtin. (1995). Secuestro de carbono en un Chernozem marrón afectado por la labranza y la rotación. *Revista canadiense de ciencia del suelo*. 75:449-458 p.
- Carzola C. (2008), *Materia orgánica y fertilidad de suelos*. (En línea). Argentina. Estación Experimental Agropecuaria “Marcos Juárez”. Área de suelos y producción vegetal. Disponible en: <http://www.inta.gov.ar/mjuarez/info/documentos/Suelos/mofert08.pdf>

- CEDISA (2003), Experiencias Agroforestales en el Cumbaza San Martín. Edit. Perú Textos SAC. Tarapoto, San Martín. 150 p.
- Chenu, C., Y. Le Bissonnais, and Arrouays D. (2000), Influencia de la materia orgánica en la humectabilidad de la arcilla y la estabilidad de los agregados del suelo. *Revista de la Sociedad de Ciencias del Suelo de América*. 64:14791486.
- Curtin, D., F. Selles, H. Wang, and C. Biederbeck. (1998), Emisiones de dióxido de carbono y transformación del carbono y nitrógeno del suelo durante la descomposición de la paja de trigo. *Revista de la Sociedad de Ciencias del Suelo de América*.62:1035-1041.
- Dourojeanni J. M. (1988), *Gran Geografía del Perú, Recursos Naturales, desarrollo y conservación en el Perú*. Edit. Manfer, Impreso en México, 234 pag.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FR). (2002), Informe sobre recursos mundiales de suelos: captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Francia, PR. Instituto nacional de investigación agronómica. 83 p.
- FAO. (2002), Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Informes sobre recursos mundiales de suelos No 96. Roma. 61pp.
- Fierros et al (2013), Almacenamiento de carbono en raíces de plantaciones de *Eucalyptus grandis* y *E. urophylla* en el sureste de México Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, km 36.5 Carretera México-Texcoco, C.P. 56230, Texcoco, Estado de México
- Figueroa C. M. (2010), Almacenamiento de carbono en bosques manejados de *Pinus patula* en el Ejido La Mojonera, Zacualtipán, Hidalgo. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Estado de México.
- Foley, J. (2005), Consecuencias globales del uso de la tierra. Centro de investigación Woods Hole.
- FONAM (2004), Secuestro de Carbono. Fondo Nacional del Ambiente - Perú.  
<http://www.fonamperu.org/general/bosques/secuestro.asp>

- Guo, L., Gifford, R. (2002), “Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis”. *Global Change Biol.* 8 (2002):345-360.
- Hernandez, A., Rojas, R., Sánchez, F. (2013) Cambios en el uso del suelo asociados a la expansión en el corregimiento de Pasquilla, zona rural de Bogotá (Colombia). *Rev. Cuadernos de Geografía.* 2 (22): 257-271
- Herrera, J. (2010). *Estimación de la biomasa y carbono almacenado en dos sistemas agroforestales de cacao (Theobroma cacao L.) de diferentes edades en la provincia de Leoncio Prado.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la selva]. Repositorio Institucional UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/123>.
- Holdridge, L. R. (2000), *Ecología Basada en Zonas de Vida.* Quinta Reimpresión. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA. Costa Rica. 216 p.
- Honorio, E. y Baker, T. (2009), *Memoria del Taller de análisis estadístico para apoyar el diseño de inventario de carbono.* Perú, IQ. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana - Universidad de Leeds. 12 p.
- Honorio, E. y Baker, T. (2010), *Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos.* Perú, IQ. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana - Universidad de Leeds. 55 P.
- ICRAF (2002), *Manual para determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra en Perú.* 20 p.
- INE-SEMARNAT (Instituto Nacional de Ecología) (2007), *La conservación de suelos, un asunto de interés público.* Gaceta Ecológica N° 83. México. 5-71p.
- Ingram L. J., P. D. Stahl, G. E. Schuman, J. S. Buyer, G. S. Vance, G. K. Ganjegunte, J. M. Welker, J. D. Derner. (2008), *Impactos del pastoreo sobre el carbono del suelo y las comunidades microbianas en un ecosistema de pastos mixtos.* *Revista de la Sociedad de Ciencias del Suelo de América* 72:939-948.
- IPCC. (2007), *La base de la ciencia física. Contribución del Grupo de Trabajo I al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* (Solomon, S., D. Quin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, KBM Tignor y

HL Miller (eds). Universidad de Cambridge Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY. EE. UU.. 996 pp.

IPCC. (2007), informe de síntesis. Ginebra.

Jackson, L. M. (1976), Análisis químicos de suelos. Tercera Edición. Beltrán, J (traductor). Ediciones Omega. Barcelona, España. pp: 282-283.

James, P. and H. Konrad (1986), Influencia de los coloides minerales en las tasas de renovación del carbono orgánico del suelo. En: Interacciones de minerales del suelo con orgánicos naturales y microbios. Sociedad Estadounidense de Ciencias del Suelo. Publicación especial no. 17. Madison, UE. pp: 283-303.

Jenkinson, D. S. (1971), Estudios de descomposición de materia orgánica marcada con  $^{14}\text{C}$  en suelo. *Ciencias* 111:64-70.

Jara, R. (2016). *Almacenamiento de carbono en el suelo en dos tipos de sistemas agroforestales cacao (Theobroma cacao L.) y café (Coffea arábica L.) en Hermilio Valdizan*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1363>.

Lal R. (2004), El secuestro de carbono del suelo impacta en el cambio climático global y la seguridad alimentaria. *Ciencias* 304:1624-1627.

Lal, R. (1996), Agricultura de bajos insumos y emisiones de gases de efecto invernadero. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. *Terra* 15:109-118.

Lal, R. (1999), Calidad del suelo y seguridad alimentaria: las perspectivas mundiales. En: *Calidad del suelo y erosión del suelo*. Lal, R. (ed.). CRC. Boca Ratón, Florida, USA. pp: 3-15.

Lal, R., D. Mokma and B. Lowery (1999), Relación entre calidad del suelo y erosión. En: *Calidad del suelo y erosión del suelo* Lal, R. (ed.). CRC. Boca Ratón, Florida, USA. pp: 237-245.

Lal, R., Kimble M., Follet, F. and Stewart, A. (1998), Procesos pedosféricos y ciclo del carbono. En: *Procesos del suelo y ciclo del carbono*. Lal, R., Kimble, J., Fllett, R. y Stewart (ed.). Chapter 1. CRC. Boca Ratón, Florida, USA. pp: 1-7.

- Leiva, E., Ramírez, R. (2021). Carbono almacenado en caco y suelo en sistemas agroforestales. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*.4 (4),5331-5346.
- Llerena, C. (2005), Conceptos sobre cuencas hidrográficas e hidrología forestal relacionados a servicios ambientales y producción de agua. IPROGA, UNALM. Perú. 25 p.
- Masera O., B. H. J. De Jong, I. Ricalde. (2000), Consolidación de la Oficina Mexicana para la Mitigación de Gases de Efecto Invernadero. Instituto de Ecología, UNAM. México. 197 pp.
- Masera O. (1995), Los Bosques y El Cambio Climático Global Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 536-537, 4347.
- Mena, V., Andrade, H., Mora, J. (2011). Biomasa y carbono almacenado en sistemas agroforestales con café y en bosques secundarios en un gradiente altitudinal en Costa Rica. *Revista Agroforestería Neotropical*. 1 (1), 1-20.
- Metcalf, D., Phillips, O., Baker, T., Brienen, R., Kuo- Jung C., Silva J. (2009), Medición de la asignación y ciclación de carbono de los bosques tropicales. Manual de campo RAINFOR. 30p.
- Mondragón, G. (2019). Carbono Total Almacenado en una Plantación de *Theobroma cacao* L. en Condiciones de Ceja de Selva - Bellavista – Jaén.[Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaen]. Repositorio Institucional UNJ. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/122>
- Montoya G., Soto L., Jong B., Nelson K., Farias P., Yakactic P. y Taylor J. (1995), Desarrollo forestal sustentable: Captura de carbono en las zonas Tzeltal y Tojolabl del estado de Chiapas. México. Universidad de Edimburgo - The Edimburgh Centre for Tropical Forests. 50 p.
- Moreno M. G. J., B. J. G. Cerón, B. R. M. Cerón, S. J. J. Guerra, Á. L. E. Amador, H. E. Endañú. (2010), Estimación de la captura de carbono en suelos de manglar de Isla del Carmen. *UNACARTECNOLOGÍA* enero-junio, 23- 39.

- Mostacero, J. (1990), Fundamentos de Fitogeografía, y Recursos Naturales del Perú, Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo - Perú.
- Oades, J. M. (1988), La retención de materia orgánica en suelos. En: Biogeoquímica 5:35-70
- Odum, E. (1986), Fundamentos de Ecología. USA. Universidad de Georgia. Cap. 4, 130 p.
- Olson, K. R., D. L. Mokma, R. Lal, T. E. Schumacher and M. J. Lindstrom (1999), Impactos de la erosión en el rendimiento de los cultivos de suelos seleccionados del centro norte de los Estados Unidos. En: Calidad del suelo y erosión del suelo. Lal R. (ed.). Prensa CRC. Boca Ratón, Florida, Estados Unidos. pp. 250-265.
- OMM (Organización Meteorológica Mundial) y PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) (2005), La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono. Resumen técnico. 150 p.
- Ordóñez A. (1999). Captura de carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP. Distrito Federal, México. 72 pp.
- Ordóñez J. A.; B. H. J. De Jong, O. Maser. (2001), Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrobus* en San Juan Nuevo Michoacán. Madera y bosques 7:27-47.
- Oviedo, L. (2007), Medición de la respiración del suelo en ecosistemas mediterráneos con sistemas de cámaras y analizadores tipo IRGA. Tesis: Mag. Sc. Geofísica y meteorología. Universidad de Granada. España. 32 p.
- Paustian, K. (2007), "Los suelos agrícolas como sumidero para mitigar las emisiones de CO<sub>2</sub>". Manejo y uso del suelo 13 (2007): 230-240.
- Post W. M., K. C. Know. (2002), Secuestro de carbono del suelo y cambio de uso de la tierra: procesos y potencial. Biología del cambio global 6:317-328.
- Raich, J., Schlesinger W. (1992), El flujo global de dióxido de carbono en la respiración del suelo y su relación con la vegetación y el clima. Tellus. USA. 44B. 81-99 p.

- SA, J., Dos Santos, J., Vázquez, F., Cardoso, E., Junior, D., Massinham A., Ferreira, C., Pavei, M., Carli R. (2007), Compartimentos de la materia orgánica y balance de carbono en experimentos sobre sistemas de manejo de suelos de larga duración. México. XVII Congreso Latinoamericano de la ciencia del suelo. 30 p.
- Schnitzer, M. (1982), Caracterización de la materia orgánica: propiedades químicas y microbiológicas. En: Métodos de análisis de suelos, Parte 2. Charper 30, ASA-SSSA. pp: 677.
- Segovia, G. (2009), Calentamiento global y CO<sub>2</sub> (En Línea). Boletín Electrónico Ciencia. Disponible en: <http://www.segovia-hernandez.com/publicaciones/id=122627.pdf>
- Silva, J., Olaya, L. (2019). Cuantificación de carbono almacenado en un sistema agroforestal de café (*Coffea arabica* L.), asociado con guaba (*Inga edulis* sp.), distrito Jaén-Cajamarca. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/133>.
- Sharrow S. H., I. Syed. (2004), Almacenamiento de carbono y nitrógeno en agroforestales, plantaciones de árboles y pastizales en el oeste de Oregón, EE. UU. *Sistemas agroforestales* 60:123-130.
- Steiguer de, J. E., J. R. Brown, J. Thorpe. (2008), Contribuir a la mitigación del cambio climático mediante la gestión de pastizales. *Rangelands* 30:7-11.
- Stott, D., A. Kennedy A. and C. Cambardella. (1999), Impactos de los organismos del suelo y la materia orgánica en la estructura del suelo. En: *Calidad del suelo y erosión del suelo*. Rattan, L. (ed.). CRC Press. pp: 57-60.
- Uriarte, A. (2003), *Historia del Clima de la Tierra*. España. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. 1ra edición. 306p.
- Villogas, K. (2013). Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales (SAF) con cacao (*Theobroma cacao* L.) en producción. [tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/163>.

- Walkley A. y C. A. Black. (1934), Un examen del método Degtiareff para determinar la materia orgánica del suelo y una modificación propuesta del método de valoración del ácido crómico.
- West O. T., W. M. Post. (2002), Tasas de secuestro de carbono del suelo por labranza y rotación de cultivos: un análisis de datos global. *Revista de la Sociedad de Ciencias del Suelo de América* 66:1930-1946.
- Zibilske, L. M. (1994), Métodos de análisis de suelos, Parte 2. En: *Mineralización de carbono*. Serie de libros SSSA, no. 5. pp: 835-837.

## **ANEXOS**

**Tabla 13.** Análisis de laboratorio de los suelos de los diferentes tratamiento en estudio

N°	COD. LAB.	DATOS		ANALISIS MECANICO				pH	M.O.	N	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						CICe	%	%	%
				Arena	Arcilla	Limo	Textura							Ca	Mg	K	Na	Al	H				
		EDAD	REFERENCIA	%	%	%		01:01	%	%	ppm	ppm							Bas. Camb.	Ac. Camb.	Sat. Al		
4	S3045	6 AÑOS	1	33	18	49	Franco	5.63	3.9	0.18	9.45	112.45	8.17	6.24	1.44	0.45	0.05	--	--	--	100	0	0
5	S3046	6 AÑOS	2	41	18	41	Franco	5.65	2.55	0.11	8.42	165.3	7.61	5.32	1.43	0.75	0.12	--	--	--	100	0	0
6	S3047	6 AÑOS	3	43	16	41	Franco	6.11	4.23	0.19	8.89	131.57	7.18	5.36	1.37	0.38	0.08	--	--	--	100	0	0
7	S3048	4 AÑOS	1	25	30	45	Franco Arcillo Limoso	5.2	4.46	0.2	7.3	81.96	----	4.02	0.54	--	--	1.55	0.04	6.15	74.14	25.86	25.2
8	S3049	4 AÑOS	2	21	36	43	Franco Arcillo Limoso	5.08	4.86	0.22	7.2	67.97	----	4.32	0.69	--	--	1.42	0.12	6.55	76.5	23.5	21.67
9	S3050	4 AÑOS	3	21	32	47	Franco Arcillo Limoso	5.11	3.65	0.16	8.33	128.44	----	4.45	0.57	--	--	0.9	0.1	6.02	83.39	16.61	14.95
10	S3051	2 AÑOS	1	25	26	49	Franco	4.91	3.58	0.16	6.36	67.97	----	3.34	0.52	--	--	2.45	0.2	6.51	59.3	40.7	37.63
11	S3052	2 AÑOS	2	31	26	43	Franco	4.51	3.65	0.16	5.99	58.47	----	3.45	0.52	--	--	3.25	0.2	7.42	53.52	46.48	43.78
12	S3053	2 AÑOS	3	39	18	43	Franco	4.69	2.5	0.11	7.48	77.47	----	3.28	0.5	--	--	2.8	0.52	7.1	53.27	46.73	39.41
13	S3054	EXCOCAL	1	43	36	21	Franco Arcilloso	4.15	1.41	0.06	5.61	69.97	----	2.23	0.84	--	--	2.4	0.1	5.57	55.13	44.87	43.08
14	S3055	EXCOCAL	2	27	44	29	Arcilloso	4.59	1.81	0.08	5.24	100.96	----	3.59	1.01	--	--	4	0.2	8.8	52.26	47.74	45.46
15	S3056	EXCOCAL	3	29	44	27	Arcilloso	4.26	0.87	0.04	4.23	69.22	----	2.3	0.87	--	--	4.2	0.2	7.57	41.85	58.15	55.51

**Tabla 14.** Promedios de % de materia orgánica en el suelo

	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
R1	1.41	3.50	4.46	3.90
R2	1.81	3.65	4.86	2.55
R3	0.87	2.50	3.65	4.23
PROMEDIO	1.36	3.22	4.32	3.56

**Tabla 15.** Promedios de % de carbono en el suelo

	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
R1	0.54	1.33	1.69	1.48
R2	0.69	1.39	1.85	0.97
R3	0.33	0.95	1.39	1.61
PROMEDIO	0.52	1.22	1.64	1.35

**Tabla 16.** Promedios de densidad aparente del suelo (g/cc)

	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
R1	1.18	1.49	1.42	1.51
R2	1.11	1.52	1.38	1.53
R3	1.12	1.53	1.42	1.51
PROMEDIO	1.14	1.51	1.41	1.52

**Tabla 17.** Promedios de cálculo del peso del suelo (t/ha)

	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
R1	2360	2980	2840	3020
R2	2220	3040	2760	3060
R3	2240	3060	2840	3020

**Tabla 18.** Promedios de cálculo del carbono en el suelo (t/ha)

	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
R1	12.64	39.63	48.13	44.76
R2	15.27	42.16	50.97	29.65
R3	7.41	29.07	39.39	48.54
PROMEDIO	11.77	36.96	46.16	40.98

**Tabla 19.** Promedios de peso fresco total hojarasca recolectada gr/ 0.25 m<sup>2</sup>

	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
R1	50	380	610	650
R2	58	350	600	590
R3	55	410	560	610
PROMEDIO	54.33	380.00	590.00	616.67

**Tabla 20.** Promedios de biomasa de las hojarascas (Bh) t/ha

	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
R1	1.88	14.27	22.90	24.40
R2	2.18	13.14	22.52	22.15
R3	2.06	15.39	21.02	22.90
PORMEDIO	2.04	14.27	22.15	23.15

**Tabla 21.** Promedios de carbono de hojarasca Ch t/ha

	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
R1	0.94	7.13	11.45	12.20
R2	1.09	6.57	11.26	11.07
R3	1.03	7.70	10.51	11.45
PROMEDIO	1.02	7.13	11.07	11.58

**Tabla 22.** Promedios de peso fresco total recolectada en el sistema radicular gr/ 0.25 m<sup>2</sup>

	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
R1	48	680	850	1250
R2	45	520	910	1180
R3	35	710	830	1040
PROMEDIO	42.67	636.67	863.33	1156.67

**Tabla 23.** Promedios de biomasa radicular (Br) t/ha

	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
R1	0.60	8.48	10.60	15.58
R2	0.56	6.48	11.35	14.71
R3	0.44	8.85	10.35	12.97
PROMEDIO	0.53	7.94	10.76	14.42

**Tabla 24.** Promedios de carbono en la biomasa radicular Cr tn/ha

	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
R1	0.30	4.24	5.30	7.79
R2	0.28	3.24	5.67	7.36
R3	0.22	4.43	5.17	6.48
PROMEDIO	0.27	3.97	5.38	7.21



**Figura 15.** Extracción de las muestras de suelos



**Figura 16.** Muestra seleccionada para análisis de suelos



**Figura 17.** Cuadrantes de 50 x 50 cm para colecta de hojarasca y raíz



**Figura 18.** Muestra de raíz seleccionada en 50 x 50 cm



**Figura 19.** Colecta de hojarasca



**Figura 20.** Peso en estado fresco de las muestras



**Figura 21.** Secado de las muestras



**Figura 22.** Peso seco de las muestras colectadas